

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA RURAL

**DEFINICIÓN DE UN MODELO
EDAFOGEOMORFOLÓGICO PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE
MANEJO Y RECUPERACIÓN DE SUELOS A
NIVEL LOCAL. CASO CUENCA CAÑADA LA
GORDA, MACHIQUES COLÓN, ESTADO ZULIA,
VENEZUELA.**

TESIS DOCTORAL

LUIS ALFONSO JAVIER JIMENÉZ FLORES

INGENIERO AGRÓNOMO

MASTER SCIENCE

2011

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA RURAL

**DEFINICIÓN DE UN MODELO
EDAFOGEO MORFOLÓGICO PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE
MANEJO Y RECUPERACIÓN DE SUELOS A
NIVEL LOCAL. CASO CUENCA CAÑADA LA
GORDA, MACHIQUES COLÓN, ESTADO ZULIA,
VENEZUELA.**

TESIS DOCTORAL

LUIS ALFONSO JAVIER JIMENÉZ FLORES

INGENIERO AGRÓNOMO

MASTER SCIENCE

Directores:

D. GABRIEL GASCÓ. Doctor Ingeniero Agrónomo

D. EDGAR JAIMES. Doctor en Ciencia del Suelo.

2011



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Tribunal nombrado por el Mgfc. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día de de 2011

Presidente:

Vocal:

Vocal:

Vocal:

Secretario:

Suplente:

Suplente:

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día..... de de 2011, en la E.T.S.I. Agrónomos.

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

DEDICATORIA

A mi Familia: mi madre Teresa, mi padre Luis, mis hermanas Luisette, Milagros, Teresita, Thais y Marisela, mi esposa Elizabeth, mis hijos Luis y Francisco y a todos mis sobrinos.

A todos aquellos que me apoyaron a través de su afecto, comprensión y estímulo.

A todos ellos les ofrezco mi dedicación y esfuerzo al logro de esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Saturnino de La Plaza, director del Departamento de Ingeniería Rural de la UPM, a las Doctoras Rosa Nava y Judith Aular, Vicerrectoras académicas de La Universidad del Zulia (LUZ) responsables del programa de Doctorados conjuntos LUZ-UPM-

Al Doctor Gabriel Gascó Guerrero Director de Tesis, por su apoyo en el mejoramiento de esta la misma.

A mis amigas Licenciada María Angélica Vergara Iglesias e Ingeniero Agrónomo Verónica Polo por su apoyo incondicional e estímulo en todas las fases de este trabajo.

A los profesores Miguel Larreal, Nestor Noguera, Wilhelmus Peters y Angel Gómez por su valioso y constante apoyo.

A la Facultad de Agronomía y al Departamento de Ingeniería Suelos y Aguas por su apoyo académico.

A la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, a los Departamentos de Edafología e Ingeniería Rural por la amistad y el apoyo de su personal académico.

Al Vicerrectorado de Relaciones Internacionales de la UPM y al Banco Santander por el apoyo a través de su programa de becas.

A la vida y a Dios por todas las oportunidades.

INDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	4
I.1. LA PLANIFICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA TIERRA COMO HERRAMIENTA PARA EL CONTROL DE LA DEGRADACION.	6
I.1.2. PLANIFICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA TIERRA EN EL CONTEXTO VENEZOLANO.	8
I.1.3. LA PLANIFICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA TIERRA A NIVEL LOCAL CON BASE A LOS FACTORES FORMADORES DEL SUELO.	10
I.1.3.1. CLIMA (c)	11
I.1.3.2. RELIEVE (r)	13
I.1.3.2. ORGANISMOS (o)	17
I.1.3.4.- MATERIAL PARENTAL (p)	19
I.2. LA CARACTERIZACIÓN, MAPEO Y VALORACIÓN DEL SUELO COMO ELEMENTO DEL PAISAJE.	20
I.2.1. LA REPRESENTACIÓN DE LOS SUELOS EN FUNCIÓN DEL PAISAJE	21
I.2.2. USO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SUELOS PARA LA VALORACIÓN DEL MISMO COMO ELEMENTO DEL PAISAJE.	27
I.2.2.1 METODOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO O DE LA TIERRA.	29
I.2.2.1.1 METODOS NO CUANTITATIVOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO.	30
CAPACIDAD AGROLOGICA (USDA) Y FINES DE RIEGO (USBR).	30
ESQUEMA DE EVALUACION DE TIERRAS DE LA FAO	31
I.2.2.1.2. METODOS CUANTITATIVOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO. INDICES DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE SUELO.	33
II. OBJETIVOS	39
II. 1. OBJETIVO GENERAL.	39
II. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS	42
III. 1. INFORMACION GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO:	43

III.1.1 UBICACIÓN NACIONAL, REGIONAL Y LOCAL. GEOLOGIA.	43
III.1.2 CARACTERIZACION CLIMATICA. PRECIPITACION, TEMPERATURA, REGIMENES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	45
III.1.2.1 PRECIPITACIÓN	45
III.1.2.2 TEMPERATURA, REGIMEN DE TEMPERATURA, REGIMEN DE HUMEDAD, ZONA DE VIDA Y CLASIFICACIÓN CLIMATICA SEGÚN KOEPPEN.	46
III.1.2 USO DE LA TIERRA Y COBERTURA VEGETAL	47
III.2 DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACION DEL MODELO EDAFOGEOMORFOLOGICO.	47
III.2.1 MATERIAL CARTOGRAFICO, FOTOGRAFIAS AEREAS E IMAGEN DE SATELITE.	47
III.2 .2 PROCEDIMIENTOS DE CAMPO	47
III.2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE GEOMORFOLOGICO	48
III.2.2.2 CARACTERIZACION Y DESCRIPCION DE LOS SUELOS	49
III.2.2.3 SELECCIÓN DE LOS SITIOS PARA LA CARACTERIZACION DE PERFILES.	50
III.2.2.4 CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y USO DE LA TIERRA.	51
III.2.3 PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO Y GABINETE	53
III.2.3.1 TRATAMIENTOS PARA LAS MUESTRAS DE SUELO Y RESIDUOS VEGETALES.	53
a) QUÍMICAS:	54
b) FÍSICAS:	54
III.2.3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	54
III.2.3.3 DERIVACIÓN DEL MODELO EDAFOGEOMORFOLOGICO	55
III.2.3.4 VALORACIÓN DE LOS SUELOS EN FUNCION DEL PAISAJE	56
III.2.3.4 FORMULACION DE PROPUESTAS DE MANEJO	57
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
IV.1. CONFORMACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	60
IV.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS EN EL SENTIDO DE LA TOPOSECUENCIA. DERIVACIÓN DEL MODELO EDAFOGEOMORFOLOGICO.	73
IV.2.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS SUELOS	73

IV.2.1.1 CONDICIONES OXIDO-REDUCCIÓN	73
IV.2.1.2. SECUENCIA DE HORIZONTES MAESTROS	74
IV.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS. PROFUNDIDAD EFECTIVA Y GRANULOMETRIA.	75
IV.2.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	80
IV.2.4. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA LAS VARIABLES EDAFICAS.	84
IV.2.5. DESCRIPCION DE SUELOS PARA LAS DIFERENTES POSICIONES GEOMORFOLOGICAS	87
IV.2.6 MODELO EDAFOGEOMORFOLOGICO.	114
IV. 2.7- CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS AFECTADAS POR LA EROSIÓN.	116
IV.3. VEGETACIÓN, USO DE LA TIERRA.	118
IV.3.1 MATERIA SECA DEL RESIDUO VEGETAL	127
IV.4. VALORACIÓN DE LOS SUELOS, ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD Y PRINCIPALES LIMITACIONES.	128
IV.4.1 ESTRATEGIAS PARA LA SOSTENIBILIDAD. PRACTICAS DE MANEJO.	133
V. CONCLUSIONES	150
VI. REFERENCIAS	153
ANEXO 1.	166
Registros climáticos: precipitación, temperatura y evaporación.	166
ANEXO 2.	168
MÉTODO PARAMÉTRICO DISCRETO PARA EVALUAR LOS SUELOS SEGÚN SU PRODUCTIVIDAD ACTUAL Y POTENCIAL.	168

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. Esquema básico para la caracterización geomorfológica y morfométrica a diferentes escalas según Zinck.	49
Tabla 3. Codificación de las características morfológicas de suelo.	50
Tabla 4. Cobertura vegetal según composición, altura y densidad de cobertura	52
Tabla 5 Usos de la tierra de relevancia para el área de estudio	52
Tabla 6. Clasificación del nivel de productividad de los suelos según el IP	57
Tabla 7. Transformaciones agronómicas sugeridas para mejorar la productividad de los suelos	57
Tabla 8. Asociación entre forma de terreno y pendiente por posición dentro del paisaje.	68
Tabla 9. Asociación entre las condiciones de oxido-reducción y la posición dentro de paisaje.	73
Tabla 10. Asociación entre la secuencia de horizontes y la posición dentro del paisaje.	74
Tabla 11. Análisis de varianza para las variables físicas por posición dentro del paisaje.	75
Tabla 12. Valores promedios para las variables edáficas físicas por posición topográfica dentro del paisaje.	78
Tabla 13. Análisis de varianza para las variables químicas por posición topográfica dentro del paisaje.	81
Tabla 14. Valores promedios para las variables edáficas químicas por posición dentro del paisaje.	82
Tabla 15. Cargas absolutas de las variables de suelo en los cinco primeros componentes principales.	85
Tabla 16. Descripción del perfil 1, <i>Typic Haplustults</i> , arcilloso esquelético/fragmentario caolinítico, isohipertermico. Posición geomorfológica de tope de colina-loma.	88
Tabla 17. Análisis físico químico perfil 1, <i>Typic Haplustults</i> , arcilloso esquelético/fragmentario caolinítico, isohipertermico. Posición geomorfológica de tope de colina-loma.	89
Tabla 18. Descripción del perfil 2, <i>Typic Haplustults</i> , francoso grueso/arenoso, caolinítico, isohipertérmico. Posición geomorfológica de vertiente alta.	92

Tabla 19. Análisis físico químico perfil 2, <i>Typic Haplustults</i> , franco grueso/arenoso, caolinítico, isohipertérmico. Posición geomorfológica de vertiente alta	93
Tabla 20. Descripción del perfil 3, <i>Typic Haplustults</i> , franco grueso/arenoso, caolinítico, isohipertérmico Posición geomorfológica de vertiente media.	96
Tabla 21. Análisis físico químico perfil 3, <i>Typic Haplustults</i> , franco grueso/arenoso, caolinítico, isohipertérmico, Posición geomorfológica de vertiente media	97
Tabla 22. Descripción del perfil 4, <i>Typic Paleustults</i> , franca gruesa, caolinítica, isohipertérmica. Posición geomorfológica de vertiente baja.	100
Tabla 23. Análisis físico químico perfil 4, <i>Typic Paleustults</i> , franca gruesa, caolinítica, isohipertérmica. Posición geomorfológica de vertiente baja.	102
Tabla 24. Descripción del perfil 5, <i>Grossarenic Haplustults</i> , caolinítico, isohipertérmico posición geomorfológica de mesa conservada.	105
Tabla 25. Análisis físico químico perfil 5, caolinítico, isohipertérmico posición geomorfológica de mesa conservada.	106
Tabla 26. Descripción del perfil 6, Clasificación taxonómica: <i>Typic Endoaquults</i> , franca fina, caolinítico, isohipertérmico Posición geomorfológica de valle intracolinar.	109
Tabla 27. Análisis físico químico del perfil 6, Clasificación taxonómica: <i>Typic Endoaquults</i> , franco fino, caolinítico, isohipertérmico Posición geomorfológica de valle intracolinar.	111
Tabla 28. Características químicas y físicas de las capas superficiales de las áreas degradadas.	118
Tabla 29. Familias y especies vegetales identificadas en la catena de suelo.	122
Tabla 30. Especies vegetales con fuerte asociación a posición del paisaje.	123
Tabla 31. Indicadores vegetacionales identificados en el área de estudio.	124
Tabla 32. Variables edáficas con correlación significativa con el peso seco de residuos vegetales.	128
Tabla 33. Resumen de la clasificación de los suelos y los factores limitantes por posición geomorfológica	130
Tabla 34. Valoración de la productividad del suelo por Posición geomorfológica	131
Tabla 35. Requerimiento de enmienda para las diferentes posiciones geomorfológicas	140

Tabla 36. Tipo de ocupación recomendable para las diferentes posiciones geomorfológicas, ajustadas al IP potencial.	141
Tabla 37. Resumen del grado de aptitud para los tipos de utilización de la tierra actuales y potenciales.	143

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio	44
Figura 2. Determinación de la condición de humedad y duración del periodo de crecimiento (DPC) con base a la distribución decadiario de las lluvias y la evaporación.	46
Figura 3. Modelo digital de elevación para el área en estudio. Curvas de nivel a intervalos de 5m.	60
Figura 4. Modelo digital de elevación con vista tridimensional. Ilustrando los tipos de relieve.	61
Figura 5. Perfiles longitudinales del terreno en el sentido de la máxima pendiente.	63
Figura 6. Modelo Geomorfológico idealizado para la cuenca “Cañada La Gorda, generado de los recorridos de campo y los perfiles longitudinales”.	63
Figura 7. Gráfico de dispersión simple por coordenadas para los componentes principales 1 y 2	87
Figura 8. Modelo edafogeomorfológico de la cuenca Cañada La Gorda.	114
Figura 9. Valores promedios de residuos vegetales por posición geomorfológica.	127
Figura 10. Curva de requerimiento de enmienda para los suelos en posición de topes de colina.	136
Figura 11. Curva de requerimiento de enmienda para los suelos en posición de vertiente alta.	137
Figura 12. Curva de requerimiento de enmienda para los suelos en posición de mesa.	138
Figura 13. Curva de requerimiento de enmienda para los suelos en áreas afectadas por erosión.	139

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1 Vista general del paisaje en el área de estudio, obsérvese la sucesión de relieves en el sentido de la pendiente.	64
Imagen 2 Vista en detalle del paisaje colinar y algunas de sus posiciones geomorfológicas.	64
Imagen 3. Vista en detalle del valle.	65
Imagen 4. Vista en detalle de la mesa conservada.	65
Imagen 5. Evidencias de activación de procesos erosivos en el paisaje colinar	71
Imagen 6. Evidencias de activación de procesos morfogenéticos en el paisaje colinar	72
Imagen 7. Perfil 1. Edafón característico del suelo <i>Typic Haplastults</i> , arcilloso-esquelético fragmentario, caolínico, isohipertérmico en posición de tope de colina	90
Imagen 8. Perfil 1 Edafón característico del suelo <i>Typic Haplastults</i> , arcilloso-esquelético fragmentario, caolínico, isohipertérmico en posición de tope de colina	91
Imagen 9. Perfil 2 del suelo <i>Typic Haplustults</i> , francoso grueso/arenoso, caolínico, isohipertérmico en posición de vertiente alta.	94
Imagen 10. Perfil 2 del suelo <i>Typic Haplustults</i> , francoso grueso/arenoso, caolínico, isohipertérmico en posición de vertiente alta.	95
Imagen 11. Perfil 3. Edafon característico del suelo <i>Typic Haplastults</i> , francosa gruesa, caolínico, isohipertérmico en posición de vertiente media.	98
Imagen 12. Perfil 3. Edafon característico del suelo <i>Typic Haplastults</i> , francosa gruesa, caolínico, isohipertérmico en posición de vertiente media.	99
Imagen 13. Perfil 4. Edafon característico del suelo <i>Typic Paleustults</i> , francosa gruesa, caolínica, isohipertérmico en posición de vertiente baja.	103
Imagen 14. Perfil 4. Edafón característico del suelo <i>Typic Paleustults</i> , francosa gruesa caolínica, isohipertérmico en posición de vertiente baja.	104
Imagen 15. Perfil 5. Edafón característico del suelo <i>Grossarenic Haplustults</i> , caolínico, isohipertérmico en posición de mesa conservada	107
Imagen 16. Perfil 5 del suelo <i>Grossarenic Haplustults</i> caolínico, isohipertérmico en posición de mesa conservada.	108
Imagen 17. Perfil 6. Edafón característico del suelo <i>Typic Endoaquults</i> , francoso fino, caolínico, isohipertérmico en posición de valle intercolinar.	112

Imagen 18. Perfil 6 Edafón característico del suelo <i>Typic Endoaquults</i> , franco fino, caolínico, isohipertérmico en posición de valle intracolinar.	113
Imagen 19. Perfil de suelo característico de las áreas erosionadas.	117
Imagen 20. Cobertura vegetal en el área. Vegetación secundaria (matorrales y arbustos) combinado	120
Imagen 21. Relictos de la vegetación natural, árboles altos esparcidos en el área de pastizal formando pequeñas áreas boscosas	121
Imagen 22. Cabima (<i>Copaífera venezolana</i>) especie de importancia forestal.	125
Imagen 23 Bosquete de penda (<i>Tabebuia chrysea</i>) especie de importancia económica para la elaboración de estantillos.	125
Imagen 24. Árbol de peregueto (<i>Anidira inermis</i>) indicativo de humedad en el suelo por más de 9 meses.	126
Imagen 25. Palma Curuba (<i>Acrocemia aculeata</i>) indicativo de humedad por más de 9 meses.	126
Imagen 26. Barreras vivas de pasto vetiver (<i>Vetiveria zizanioides</i>) en el área de topes de colinas-lomas fuertemente erosionadas después de 5 años.	145
Imagen 27. Experiencia en regeneración de vegetación por sucesión vegetal después de 5 años.	146
Imagen 28. Experiencias en la implementación de pastos de cortes con riego adicional para el aumento de la capacidad de sustentación animal.	147
Imagen 29. Experiencias en la diversificación de cultivos. a) Mery (<i>Anacardium occidentale</i>) asociado en las áreas de pastoreo y b) Yuca (<i>Manihot esculento</i>) cultivado en las vertientes bajas.	148

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es generar un modelo Edafogeomorfológico útil en la identificación de necesidades de manejo de suelos, se realizó un estudio en el área de la cuenca Cañada La Gorda Machiques-Colón, estado Zulia, Venezuela, caracterizada por un clima tropical de condición subhúmeda, con duración del periodo de crecimiento (DPC) de 230 días, régimen de humedad Ustic y de temperatura Isohipertémico. Se empleó el enfoque de la ecuación factorial de formación de suelos para el análisis y descripción biofísica de los factores a lo largo de una carena. El relieve caracterizado a partir de fotografías aéreas, imágenes de satélites y de chequeos sistemático mediante transectos en el sentido del flujo del escurrimiento; la vegetación a través del uso de la tierra, la cobertura vegetal, la identificación de las especies dominantes a partir de sus nombres vernáculos y la definición de indicadores de vegetales (Iv). Los suelos fueron descritos y clasificados según la Taxonomía de suelos y valorados mediante el modelo paramétricode Riquier *et al.* (1970) para determinar el índice de productividad (Ip). Se caracterizaron dos paisajes gemorfológicos: Colinar (C) y Valle (V), seis posiciones geomorfológicas entre ambos paisajes definidas por la sucesión de relieves en el sentido de la pendiente: Tope de colina-loma (TC), mesa conservada (MC), vertientes de mesa alta (VA), media (VM), baja (VB) y valle intracolinar (VI); e igual número de perfiles de suelos representativos, los cuales mostraron edafogénesis muy avanzada con Ip inferiores a 8% en todas las posiciones, exceptuando la VB, con una productividad de 13%. El uso de la tierra es a base de pastoreo semi-intensivo de plantas forrajeras introducidas. Las formaciones vegetales predominante fueron los matorrales y arbustales dispersos, acompañados con restos de una selva tropófila fuertemente afectada por la extracción forestal y la conversión en áreas de pastoreo. Se identificaron 8 Iv, asociados fuertemente con condiciones de físicas e hidrológicas del suelo. El alto impacto de las actividades humanas sobre el suelo y vegetación, expresado a través de los procesos de erosión activa, la ausencia de áreas boscosas y la baja productividad de los sistemas de ganadería reportada para la zona, señalan la necesidad de reorientación del uso actual de la tierra, para lo cual se plantean alternativas como la incorporación de bosques protectores y sistemas agrosilvopastoriles.

Palabras clave: planificación, geomorfología, Suelos, productividad.

ABSTRACT

In order to generate an Edaphogeomorphological model to be used for the identification of management requirements of soils, a study was carried out in the area of the Cañada La Gorda watershed, Machiques Colon, Zulia State with a tropical climate, subhumid conditions with a growing period of 230 days, an Ustic soil moisture and Isohyperthermic regimes. The soils factorial equation approach was used for the analysis and description of the factors of soil formation throughout a soil catena. Relief was characterized through aerial photographs, satellite images and systematic checks of transects drawn in the sense of surface runoff and also taking into account geomorphological features. Vegetation cover and land use were described and vegetation components were identified by its local names to define vegetation indicators (VI) for the local conditions. Soils were described and classified according to soil taxonomy and valued by means of a parametric model proposed by Riquier *et al*, (1970) for determining the productivity index (PI). Two geomorphological landscapes were defined: Hilly and Valley with six positions within the landscapes: hilltop (round or elongated), preserved tableland summit, slopes of high, medium and low tableland and valleys between hills. Representative soils of each position were studied showing a highly advanced degree of edaphogenesis with PI values below 8% in all positions except the valleys with a PI of 13%. Land use type is based on semi intensive pasturing of introduced forage species, with a vegetation of brushwood and scattered shrubs, with some trees relicts of woods affected by timber extraction and turn to grassland. Eight VI were identified, highly associated to local physical and hydrological soil conditions. The enormous impact of human activity on soils and vegetation as shown by active erosion processes and absence of wooded areas and the low productivity of livestock systems reported for the area, indicates the necessity of a reorientation of the present land use introducing alternatives like the incorporation of protective woods and agrosilvopastoral management systems.

Key words: planning, geomorphology, soils, productivity

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

El sector Machiques-Colón Jurisdicción de los Municipios Machiques y Jesús María Semprún, del estado Zulia, Venezuela; ocupa una superficie aproximada de 500.000 has de terrenos con fuertes limitaciones impuestas por un relieve entre ondulado y quebrado, susceptibilidad a la erosión y baja fertilidad natural, asociada principalmente a la acidez. Razones por las cuales ha sido considerada como una zona marginal para la producción agropecuaria (Noguera *et al.*, 1994; Villalobos, 1991). La actividad agrícola en la zona gira fundamentalmente en torno a la ganadería, en conjunto ambos municipios aportan cerca del cincuenta por ciento de la carne y aproximadamente unos 650.000 litros de leche al día, a nivel del estado Zulia (Silva *et al.*, 2010).

En los últimos años se ha evidenciado la ocurrencia de procesos de erosión acelerada asociados al sobre-pastoreo, excesiva mecanización y quema de la vegetación como práctica control de arvenses, lo que ha llevado a la degradación física de los suelos y ha provocado la reducción del espesor del epiedafón, llegando en algunos al afloramiento de los horizontes B y C, con condiciones físicas y químicas desfavorables para el crecimiento de las plantas. Este proceso se evidencia por la aparición de áreas desprovistas de vegetación, conocidas localmente como calveros o peladuras, originando la reducción del área efectiva del pastizal y la prevalencia de especies arbustivas de bajo valor forrajero.

El impacto negativo de la ganadería sobre el medio ambiente es motivo de preocupación mundial, dada la expansión de la misma; y la necesidad de implementar medidas de mitigación a los efectos adversos sobre el suelo, la vegetación y la contaminación del agua (FAO, 2009; Steinfeld *et al.*, 2006).

Las causas de la degradación debida al sobre pastoreo son bien conocidas y se le atribuyen al impacto negativo que el pisoteo del ganado tiene sobre las propiedades

físicas del suelo relacionadas con infiltración y permeabilidad. La compactación, causa aumento del escurrimiento y erosión (Bari *et al.*, 1995; Russel *et al.*, 2001) y desmejoramiento de la cobertura vegetal (Bouman *et al.*, 1999).

La vulnerabilidad a la activación de los procesos erosivos depende de la concurrencia de factores predisponentes como pueden ser pendientes pronunciadas, materiales de suelo poco cohesivos, con baja infiltración y en consecuencia con alta erosionabilidad (Golodets *et al.*, 2006), acompañados con baja cobertura vegetal producto del sobrepastoreo y a la aparición de los llamados pie de vaca, reconocidos como formas de microrelieve producto del pisoteo en el sentido de las curvas a nivel. Este fenómeno se ilustra en figura a través de los efectos sobre los factores involucrados suelo y vegetación (Blanco *et al.*, 2011)

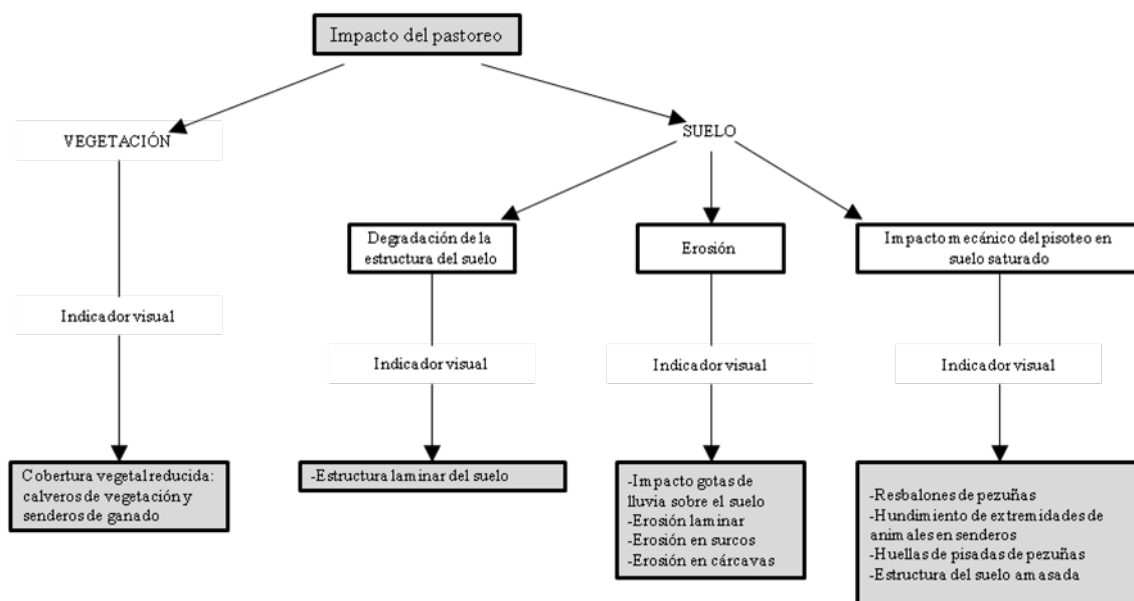


Figura 1 Indicadores visuales de la degradación del suelo y la vegetación debido al pastoreo. Según la fuente: Blanco *et al.*, (2011).

La prevención del desmejoramiento de las condiciones de productividad de los recursos, parte de la planificación del uso, que constituye un ejercicio de síntesis interdisciplinaria, en el que se integran a través de un análisis los factores bióticos y abióticos de los ecosistemas y las necesidades o requerimientos para la ocupación territorial. En el caso particular de la producción animal con base al pastoreo, este

ejercicio requiere la definición de la carga animal máxima soportable por los terrenos en función de las características del suelo y el gradiente de pendiente (Blanco *et al.*, 2011)

Los resultados se expresan en los planes de ordenamiento territorial a nivel de un país, basados en las condiciones físicas de grandes regiones; hasta llegar a los planes de aprovechamiento de la tierra a nivel local, basados en el análisis de las condiciones puntuales de clima, geomorfología y suelos, determinables a través de caracterización y valoración de los sitios; en un enfoque multiescalar en el cual se combinan los niveles de conocimientos de usuarios, expertos técnicos y los generados a partir de modelos de simulación semi-cuantitativos y cuantitativos (Bouma, 2000).

I.1. LA PLANIFICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA TIERRA COMO HERRAMIENTA PARA EL CONTROL DE LA DEGRADACION.

La planificación del aprovechamiento de la tierra se define como el proceso sistemático mediante el cual se comparan las condiciones del medio físico natural, con los requerimientos de todas formas de ocupación humana o tipos de uso de la tierra (FAO, 1995). Constituye una herramienta metodológica a través de la cual se concilian las exigencias de las formas de ocupación del territorio y la oferta del medio natural, representada fundamentalmente por las condiciones climáticas, las condiciones del terreno, y las características y propiedades de los suelos.

Este proceso permite estimar sobre bases ciertas, la capacidad de los recursos agua y tierra para soportar la presión ejercida por el crecimiento poblacional, que ha implicado la expansión de las fronteras agrícolas, la ocupación de tierras agrícolas para uso urbano industrial, la afectación de los bosques por la demanda de productos forestales y la contaminación del suelo y el agua por fuentes agrícolas, industriales, mineras y urbanas (López *et al.*, 2002).

En sus inicios los procesos de ordenamiento territorial fueron considerados como relacionados primordialmente con los sectores agrícolas, forestales y mineros. En las últimas décadas, este enfoque se ha extendido a todas las formas de ocupación humana dado que las respuestas obtenidas a través del mismo, son aplicables a la planificación urbano-industrial, al permitir reconocer los riesgos para la ocupación; por lo cual ha sido también denominado con términos considerados como sinónimos o equivalentes entre los cuales manejo integrado de recursos, gestión integrada de cuencas hidrográficas y desarrollo integral de tierras suelen ser comunes (Bocco *et al.*, 1999).

La acción de planificar para el nivel local, requiere información del medio físico natural con adecuada precisión. A este respecto es muy común el empleo de datos con alta variabilidad y baja resolución espacial considerando los atributos del suelo y la vegetación como constantes, aun cuando se sabe que presentan grandes variaciones dentro de una misma unidad, en especial si se trata de estudios con escalas menores a 1:100.000 (Zhu *et al.*, 1997; Park *et al.*, 2002).

La falta de información adecuada a escalas detalladas constituye la mayor limitación para la organización de la ocupación territorial en Venezuela y en el área de la Machiques Colón; las decisiones han sido tomadas sin ningún criterio o basadas en los estudios a escala 1: 250.000, realizados por COPLANARH (1974) hace más de 30 años. Por ello se hace necesario el desarrollo de esquemas o modelos para la recolección y organización de datos a nivel local, con base a las relaciones de los factores de formación de suelos, especialmente los más relacionados con los fenómenos de deterioro ambiental como son el relieve y la vegetación.

En este sentido los análisis basados en la relación suelo-terreno, pueden resultar una herramienta útil en la identificación de necesidades de manejo y recuperación de suelos, así como la explicación de los fenómenos de degradación de la tierra, en un área de interés.

I.1.2. PLANIFICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA TIERRA EN EL CONTEXTO VENEZOLANO.

El correcto aprovechamiento de la tierra y el agua en la República Bolivariana de Venezuela tienen rango constitucional (Gaceta Oficial de La República Bolivariana de Venezuela N° 36.860 del 30-12-1999) establecido en el artículo 128 que señala:

“El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geológicas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento”.

Los lineamientos para la organización territorial están definidos en la Ley Orgánica para la Planificación y Gestión Territorial, aprobada según gaceta oficial N° 38.388 de fecha 01-03-2006, la cual tiene por objeto establecer las disposiciones rigen dicho proceso de acuerdo con las realidades ecológicas y los principios del desarrollo sostenible, incluyendo la participación ciudadana. A fin servir de base para la planificación del desarrollo endógeno, económico y social de la Nación.

A los efectos de esta Ley, se define como Ordenación del Territorio **“a la política de Estado, dirigida a la promoción y regulación de la ocupación y uso del territorio nacional, a la localización y organización de la red de centros poblados de base urbana y rural, las actividades económicas y sociales de la población y la cobertura del equipamiento de infraestructuras de servicios, en armonía con el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales y la prevención de riesgos naturales, en función de la protección y valoración del ambiente, a fin de lograr los objetivos del desarrollo sustentable, crear las condiciones favorables a la recepción del gasto público y la orientación de la inversión privada como parte integral de la planificación económica y social de la Nación”.**

Según dicha ley organización de la ocupación territorial abarca niveles jerárquicos desde las instancias superiores de gestión pública (nación, regiones,

estados), abordados por los planes nacionales, estatales y regionales; hasta las locales en las que se requiere el plan de manejo de las tierras en los municipios o predios agrícolas enfocadas en el aprovechamiento de los recursos (artículos 10-15 de la ley).

Las decisiones y acciones en cualquiera de estas instancias deben ser plasmadas en modelos, mapas y documentos, tomando como base los rasgos y características territoriales más estables en la dimensión temporal, tales como las formas terrestres (paisaje, relieve), la geología y los suelos; y otras de mayor dinamismo en el tiempo como son la cobertura vegetal y el uso actual de la tierra (Mendoza *et al.*, 1998).

La coincidencia entre los niveles más generalizadas y con mayor grado de abstracción y los más detallados, requiere la conformación de unidades territoriales lo suficientemente homogéneas y adecuadamente jerarquizadas para garantizar la compatibilidad a diferentes instancias, lo cual ha sido definido como el enfoque multiescalar de la planeación agrícola. El mismo debe contextualizarse en las cuencas hidrográficas, para garantizar la valoración de los efectos que los cambios en las condiciones de un sector puedan tener en las posiciones del terreno ubicadas aguas abajo en la secuencia de drenaje, los cuales además de afectar actividades productivas, pueden representar riesgos a la ocupación humana (Bocco *et al.*, 2001).

En este enfoque se hace necesario el modelaje del terreno a diferentes escalas integrado con la caracterización de suelos, con el fin de visualizar el balance entre la ocupación territorial y los cambios en la cobertura, uso de la tierra y los fenómenos de degradación-regeneración de suelo en el paisaje; permitiendo además racionalizar los procedimientos de muestreo y evaluación de sitios, con lo cual se facilitan las labores de campo y laboratorio relacionadas.

I.1.3. LA PLANIFICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA TIERRA A NIVEL LOCAL CON BASE A LOS FACTORES FORMADORES DEL SUELO.

La planificación del aprovechamiento de la tierra está normalmente centrada en la interrelación de los factores biológicos y físicos del medio, considerando al suelo como el elemento integrador en el que confluyen los elementos meteorológicos, la vegetación y la acción del hombre; los cuales junto al relieve, material parental y el tiempo constituyen los factores formadores en la ecuación factorial de formación de suelos planteada por Jenny (1941).

La misma es ampliamente citada en la literatura, quizás porque constituye un enfoque holístico del origen de los suelos, que expresa en términos matemáticos y simplificados las complejas relaciones entre los factores de formación. A pesar de no haber sido matemáticamente resuelta constituye una ayuda para comprender los cambios cualitativos en el sistema suelo (Phillips., 1998) y ha sido el enfoque frecuentemente aplicado para sistematizar la descripción y caracterización de suelos a nivel de campo y el avalúo de sitios.

El suelo refleja a través de sus características el resultado de la acción de los cinco factores; sin embargo, a nivel local el clima, el material parental y el tiempo; pueden ser considerados constantes, con lo cual el relieve y los organismos pasan a ser determinantes y dejan marcas distintivas en el producto (Phillips *et al.*, 2004). Este planteamiento, permitiría la utilización de la ecuación factorial para simplificar los factores actuantes en el modelaje de las relaciones suelo-terreno (edafogeomorfológico).

Muchos de los modelos definidos para la formación de suelos, llevan a la clasificación de unidades discretas con diferencias edafológicas y geomorfológicas importantes (Philips *et al.*, 2004), cuyas características son aplicables a la organización de la ocupación territorial y los planes de aprovechamiento de la tierra; e incluso utilizables a diferentes niveles de escalas en el contexto de las cuencas hidrográficas y con propósitos multidisciplinarios tales como agricultura, urbanismo, ambiente, servicios e identificación de riesgos para la ocupación.

La ecuación propuesta por Jenny (1941), se ha constituido en el marco de referencia para el análisis de la relación suelo-paisaje, el análisis de los procesos de formación y hasta la clasificación de los mismos a partir de la génesis; a pesar de los intentos más recientes, como por ejemplo, Soil Survey Staff (2010), para la clasificación con base en los valores de las propiedades del suelo en particular y a los horizontes de diagnóstico, en lugar de los procesos edafogénicos.

Según la ecuación planteada por Jenny (1941), el suelo (s) es función de los factores: clima (cl), relieve (r), organismos (o), material parental (p) y tiempo (t) desde el inicio de la formación del suelo

$$s = f (cl, r, o, p, t)$$

Esta ha sido empleada como punto de partida para el análisis de la relación genésica entre el suelo y las formas terrestres y recientemente retomada como base para el mejoramiento de los procedimientos relacionados con la recolección de datos edáficos a nivel local (Kerry et al., 2011); por lo cual se propone a continuación una revisión de cada uno de los factores con relación a la formación de suelos, y su aplicación a la toma de decisiones sobre el manejo de estos.

I.1.3.1. CLIMA (c)

El clima (c) es considerado como el factor motriz en la formación del suelo al ser el que aporta la energía a través de los factores geodinámicos representados por la temperatura y viento, y los acuosos como la precipitación (Bockheim *et al.*, 2006).

Este factor está vinculado al aspecto geográfico, al punto que se le define como el aspecto geográfico de la meteorología, por la cual su análisis resulta muy útil en la evaluación de recursos a nivel de países y grandes regiones; dada la relación que guarda con la vegetación, la adaptación de cultivos, los rendimientos agrícolas y las

características y propiedades de los suelos, ha sido empleado como criterio de partida en la zonificación agroecológica (Bocco *et al.*, 2006).

Cuando el clima se convierte en el elemento determinante para el desarrollo de las características del suelo, se refiere como una climosecuencia, partiendo de la consideración que los otros factores actúan en forma constante. En la cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela ha sido reportada una correlación significativa entre el incremento de los volúmenes anuales de precipitación y los procesos edafogénicos eluviación e iluviación, así como en el grado de lixiviación de los suelos; cuya influencia ha determinado para suelos derivados de un mismo material parental, diferentes clases a nivel de órdenes referidos a la taxonomía de suelos (Soil Taxonomy) (Paredes *et al.*, 1981).

En Venezuela la caracterización climática ha sido tradicionalmente realizada aplicando el esquema de zonas de vidas, en el cual se vinculan temperatura, precipitación y altura sobre el nivel del mar, con la vegetación, este sistema es considerado más como una clasificación de vegetación que climático (Ewel *et al.*, 1968).

El sistema de clasificación climática de mayor utilización a nivel mundial es el de Koeppen (Ayllón, 2003) el cual vincula las temperaturas, humedad y precipitaciones, con lo cual resulta una herramienta útil para definir la duración del periodo de crecimiento (DPC), el cual es básico para la zonificación general del aprovechamiento de la tierra. La DPC se define como el periodo en días o meses en las cuales las temperaturas superan los 5 grados Celsius y la precipitación supera la mitad de la ETP (FAO, 1996).

A nivel local la caracterización climática en lo posible debería llegar a la definición de los regímenes de humedad y temperatura de los suelos (Soil Survey Staff, 2010), los cuales normalmente están en concordancia con la clasificación climática de Koeppen y la DPC definida por la FAO.

I.1.3.2. RELIEVE (r)

Este factor es comúnmente referido como la topografía, aunque su significado es de mayor profundidad a los atributos relacionados con la topografía como pendiente y elevación; este tiene implicaciones que van más allá, y están referidas al análisis y descripción de las formas terrestres dadas sus repercusiones cualitativas y cuantitativas sobre la diversidad édafica y la biodiversidad (Ibañez *et al.*, 1995).

A los fines de caracterización de suelos en la actualidad la FAO (2006) señala que el relieve abarca dos componentes: las formas fisiográficas y la topografía. El primero referido a las características físicas de la corteza terrestre formadas por procesos naturales y el segundo a la posición dentro del paisaje, la forma del terreno, el gradiente de pendiente y la elevación (Hirmas *et al.*, 2011; Marchetti *et al.*, 2011; Francelino, *et al.*, 2011).

El estudio de las relaciones entre el suelo y las formas terrestre constituye el objeto de la geomorfología, la cual provee los principios para comprender la evolución de las formas terrestres, como base para la separación de la continuidad de la corteza terrestre en unidades o cuerpos de suelo, desde el nivel local hasta el continental (Wysocki *et al.*, 2000).

La vinculación entre el suelo y las formas terrestres en su nivel más básico ha sido establecida a través del modelo de la catena (del Latín, cadena) de suelos; el cual asume que los procesos hidrológicos y geomórficos relativos al escurrimiento, erosión y sedimentación en el sentido de la pendiente, generan patrones de desarrollo de suelos consistentes en mayor o menor grado (Hook *et al.*, 2000). Este término propuesto por Geoffrey Milne en 1932, para explicar los cambios en la morfología de los suelos en el sentido de la pendiente, se ilustra en la figura 2.

El escurrimiento a lo largo del gradiente topográfico o sucesión de relieves, ejerce acción determinante en el lavado, redistribución, arrastre y deposición de elementos y materiales (nutrimentos y sedimentos) en el sentido de la pendiente (Ahuja

et al., 1982; Armstrong *et al.*, 2009); adicionalmente, puede afectar características y propiedades de los suelos como régimen de temperatura, humedad, textura, profundidad efectiva y fertilidad, entre otras. (Seibert *et al.*, 2007 por lo que resulta determinante para condición de humedad, el desarrollo de la vegetación y de las prácticas de uso y manejo. Los procesos hidrológicos dominados por el gradiente hidráulico, afectan la infiltración, el escurrimiento y la condición hidrológica de los suelo (Westerm *et al.*, 2004). Adicionalmente, ejerce control de los procesos de modelamiento del paisaje a través del equilibrio entre infiltración y escurrimiento que definen por el balance entre morfogenesis y edafógenesis.

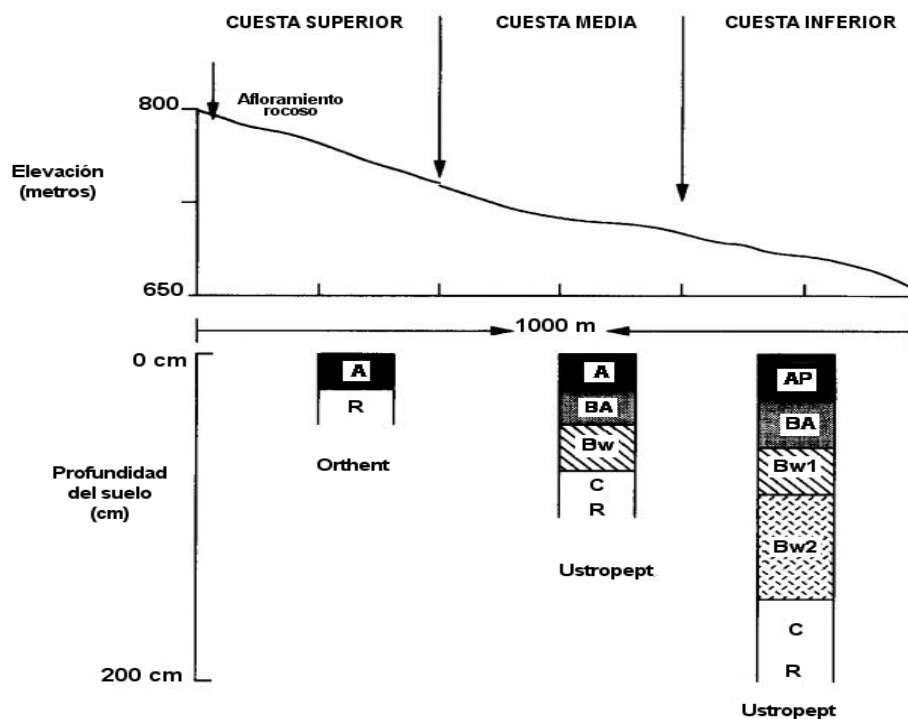


Figura 2 Modelo teórico de la catena de suelos adaptado de Agbenin *et al.* (1995). Explica la variación morfológica de los suelos en el sentido de la pendiente.

El término suelo-paisaje ha sido objeto de investigaciones en las que se establecen dos efectos: el primero la influencia sobre las características de los suelos. En este sentido, las formas terrestres explican en muchos casos cambios en la morfología como la profundidad efectiva o la presencia de características de oxido reducción útiles en la identificación y separación de entidades discretas (Phillips *et al.*, 2007).

En condiciones de laderas o vertientes los procesos dominados por la gravedad, el flujo del agua y hasta por la acción del viento, ejercen influencia sobre el desarrollo de los suelos (Canfield *et al.*, 2001), que se manifiestan en cambios en físicos como la modificación en la granulometría de la distribución de la fracción arena, acumulación de arcilla y limo en el sentido de la pendiente, así como variaciones de la condición química tales como, el incremento del pH, del carbonato de calcio y saturación básica en el mismo sentido de la pendiente (Brubaker *et al.*, 1993), capaz de modificar el nivel de nutrimentos en el suelo (Gerdol *et al.*, 2011).

El segundo efecto se refiere a la susceptibilidad a los fenómenos erosivos asociados con el grado de pendiente que es uno de los factores que controlan la escorrentía y la erosión, que se hacen más probables con pendientes más pronunciadas, como resultado de redes de escurrimientos más rápidas y de flujo más concentrados (Fox *et al.*, 1997). Esta, en interacción con características del suelo como la textura, y la infiltración; y los efectos del uso de la tierra y la cobertura vegetal, permiten explicar en conjunto la ocurrencia y las características de los procesos de erosión (Kompari *et al.*, 2011; Zucca *et al.*, 2006).

Para el proceso de organización territorial las formas terrestres se ubican a nivel de importancia primordial, al constituir características fácilmente observables en imágenes de sensores remotos y a nivel de campo, constituidas por atributos relevantes para la evaluación de limitaciones a la ocupación territorial y de carácter relativamente estable en el tiempo como pendiente del terreno, forma de la pendiente y patrón de drenaje entre otros (Bocco *et al.*, 2001).

En este sentido el modelo de la catena de suelo ha sido ampliamente aplicado para relacionar los procesos de formación del suelo y la distribución espacial de las propiedades del suelo, a lo largo de la pendiente útiles con fines de mapeo (Jiménez *et al.*, 2006; Scatena *et al.*, 1995; Silver *et al.*, 1994)

La clasificación y descripción de las formas del terreno resulta complejo, al respecto Minar *et al.* (2008) apuntan que la mayoría de los trabajos utilizan un enfoque

intuitivo para producir un sistema de información geomorfológica a nivel local, por lo que se hace necesaria la definición estricta de unidades geomorfológicas básicas. Otra forma más simple es distinguir las áreas por su elevación, luego entre planas e inclinadas y estas últimas subdividir las por posición relativa en el paisaje (Kerry *et al.*, 2011).

En Venezuela, se emplea como marco de referencia para la descripción de las formas terrestres el esquema general propuesto por Zinck (1988), el cual considera niveles jerárquicos que van desde los más generalizados, definidos con base a atributos muy generales como la vinculación geológica o hidrográfica, hasta las formas más detalladas y aplicables a la planificación local, en una secuencia que guarda relación con las escalas empleadas.

Dicho esquema cumple con el principio de desagregación jerárquica de las formas terrestres para su aplicación a la fotointerpretación de imágenes, al modelaje suelo-terreno y la planificación de la ocupación territorial planteado por De Bruin *et al.* (1999). De manera que para las grandes regiones de un país como Venezuela a escalas menores 1:500.000, las formas terrestres estarán representadas por las regiones fisiográficas, también llamados paisajes morfogenéticos; los cuales estarían conformados por diversidad de formas terrestres con una relación hidrográfica o geológica. A escalas con mayor detalle, se describe en función de los paisajes, los relieves, las posiciones geomorfológicas y las formas del terreno.

Para el caso particular de las áreas montañosas de Venezuela Steegmayer y Bustos (MARNR, 1980), propusieron un modelo geomorfológico de enfoque secuencial para inventario de recursos e interpretación del medio natural con base a los sistemas de relieves para escalas menores a 250.000, unidades de relieve para escalas 1:100.000 y formas y posiciones para nivel 1:25.000. Este modelo del terreno ha sido aplicado exitosamente en las cuencas altas, pero presentó limitaciones para su aplicación en áreas planas.

I.1.3.2. ORGANISMOS (o)

Este factor engloba la acción de las plantas, microorganismos, mesoorganismos, organismos vertebrados y el hombre; los cuales ejercen su acción sobre el suelo a través de la redistribución de nutrientes dentro del volumen de enraizamiento, en el caso de las plantas mediante la incorporación de residuos o la modificación del balance de nutrientes (Boettcher *et al.*, 1990); y en el caso de los mesoorganismos, a través del mezclado de horizontes, reestructuración del suelo y descomposición de la materia orgánica (Nkem *et al.*, 2000)

La vegetación suele ser el reflejo de la condición climática y del grado de intervención humana, asociado con la importancia económica o valor forestal o forrajero de las plantas nativas, así como del nivel de manejo de las unidades de producción. Cuando la intervención impacta fuertemente los recursos o los cambios económicos provocan reducción en las actividades, ocurre el abandono de los campos que lleva a la revegetación por sucesión espontánea, cuyo éxito depende de la relación entre clima, del grado de deterioro de los suelos y el relieve (Ruiz- Sinoga *et al.*, 2011).

El control ejercido por el relieve sobre los procesos hidrológicos y biogeoquímicos, causa efectos notorios sobre la vegetación en términos de diversidad y distribución de las plantas vasculares, atribuido al transporte de nutrientes y a las variaciones en el gradiente de humedad en el sentido de la pendiente (Zinko, *et al.*, 2005); de manera que el mismo puede modificar el patrón y el desarrollo de la vegetación a lo largo de la pendiente. En algunas ocasiones, ocurre mayor control de los factores abióticos, específicamente suelo y relieve, que lleva a la activación de escurrimiento y erosión extrema, por falta de cobertura vegetal (Katra *et al.*, 2007) cuyo desarrollo podría estar limitado por la disponibilidad de nutrientes (Feng Jiao *et al.*, 2011).

Pareciera existir un menor conocimiento del desarrollo de procesos de formación de suelos gobernados por los organismos, denominados biosecuencias, particularmente porque se piensa que el principal actor, la vegetación, está muy influenciado en su

acción por el clima y las condiciones del suelo (Mcbratney *et al.*, 2003). Sin embargo, la literatura reporta la relación entre la vegetación, el suelo y el relieve en cuatro aspectos importantes: cambios bioquímicos, biomecánicos, morfológicos y protección contra la erosión

Los cambios bioquímicos se deben al aporte de residuos, que varían dependiendo de la cobertura vegetal boscosa o no y del tipo de especie predominante. Estos pueden causar variaciones importantes en características del suelo como el incremento del carbono orgánico, de la conductividad eléctrica, del porcentaje de sodio intercambiable (Zucca *et al.*, 2011), variaciones en el pH, en los niveles de calcio, magnesio, potasio y aluminio intercambiables (Zueng *et al.*, 1997).

El empuje y la presión mecánica ejercida por el crecimiento de las raíces provocan desplazamientos de la masa del suelo, formación de depresiones superficiales y canales subterráneos por levantamiento o muerte de raíces. Estos constituyen los llamados efectos biomecánicos, los cuales dejan rasgos particulares e importantes en las formas de microrelieve, con grandes variaciones a nivel local (Phillips *et al.*, 2006).

Estos cambios, generan gran variabilidad en las características morfológicas; tales como: tipo de horizontes, profundidad y características de oxido reducción, a cortas distancias, especialmente en áreas boscosas, mientras que en campos cultivados este efectos es nulo o menos notorio por la simplificación del paisaje causado por el hombre (Phillips *et al.*, 2004).

Para la vegetación ha sido reconocido un efecto estabilizador y protector del suelo y el relieve, mediante la acción de especies con denso enraizamiento, que atenúan la acción de elementos disturbantes como el viento y la escorrentía (Yan *et al.*, 2011; Scatena *et al.*, 1995)

En términos de ordenamiento territorial, zonificación de cultivos y la conformación de planes de aprovechamiento de la tierra, la vegetación es considerada de mayor importancia, en conjunción con el uso de tierra al ser muy dinámicas y dependiente de las actividades humanas (López *et al.*, 2002). La cobertura vegetal y el

uso de la tierra a nivel de países y grandes regiones, es reflejo de las condiciones climáticas, razón por la cual erróneamente en Venezuela se emplea el sistema de zonas de vida como herramienta para su descripción. Al no haber un sistema de clasificación único de vegetación, se aceptan descripciones locales; siendo lo deseable el análisis de las formaciones vegetales y su relación con las condiciones edafoclimáticas. Un esquema aplicado y de amplia aceptación es el propuesto por ISRIC (2005), en el cual se vincula la altura, la densidad de cobertura y el tipo de componentes para describir la vegetación.

Ahora bien, a nivel de local dos aspectos de la vegetación y uso de la tierra cobran importancia, el primero de ellos la identificación de indicadores vegetales, los cuales son plantas altamente correlacionadas con condiciones muy particulares de clima y suelo, cuya observación e identificación resulta útil para detectar de forma rápida característica de importancia para el manejo de suelos, tales como condiciones de suelos compactados, mal drenados y de baja fertilidad entre otras (Varela, 2003). El segundo se asocia con el grado de intervención humana y sus impacto sobre la vegetación, el suelo y la activación de procesos de degradación ambiental de suelos y aguas (FAO, 2006).

I.1.3.4.- MATERIAL PARENTAL (p)

El material parental original se refiere a las sustancias orgánicas, antropógenicas o minerales, de las cuales se derivó el suelo. En el caso de los suelos minerales, los cuales ocupan mayor parte de la corteza terrestre, este factor hace referencia a los materiales no consolidados derivados de la meteorización de la roca y transportada por cualquier medio, y a los productos de la meteorización de las rocas originadas en el sitio (Brady *et al.*, 2002).

La descripción del material parental a los fines de la caracterización del suelo puede hacerse en relación a la naturaleza o tipos de rocas de los cuales se ha derivado el suelo y en función de las formas de transporte o movilización de los materiales. En el primero de los criterios se considera la clasificación general de las rocas por su origen: ígneas, metamórficas y sedimentarias (ISRIC, 2005) y en el segundo se agrupa en

coluviales si son transportados por gravedad, aluviales si es por agua y fluviales si es por un curso de agua (FAO, 2006).

Una caracterización de mayor detalle de los materiales parentales requiere la identificación de la formación geológica de la cual se presume se derivaron de los suelos, las cuales se definen como conjuntos de rocas con un origen común, por las cuales se les considera como una unidad geológica, con una litología particular. En Venezuela a este respecto, generalmente se emplea como referencia para las formaciones geológicas el léxico estratigráfico de Venezuela (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1956).

En la planificación del aprovechamiento de la tierra, la información de los materiales padres a los niveles de mayor generalización, puede ser inferida a través de sensores remotos y/o recorrido de campo, por el atributo de las formas de las pendientes que guardan relación con la litología de los materiales. A niveles de mayor detalle la información del tipo de roca que da origen al suelo, permite explicar características y propiedades como la textura, salinidad, fertilidad y granulometría, las cuales pueden ser heredadas del material parental (MARNR, 1980).

I.2. LA CARACTERIZACIÓN, MAPEO Y VALORACIÓN DEL SUELO COMO ELEMENTO DEL PAISAJE.

Los suelos están influenciados por múltiples factores interrelacionados, pudiendo adicionalmente incluir características heredadas o vestigios de condiciones pasadas completamente distintas a las actuales; las cuales conllevan a una evolución convergente o divergente. Este hecho, dificulta vincular la variabilidad de suelos a las variaciones en vegetación, topografía e hidrología entre otros. Sin embargo, estas interacciones determinan las características morfológicas, químicas y físicas, bases para la clasificación y el mapeo de suelos (Philips *et al.*, 2005). No obstante, es reconocida la gran proximidad existente entre los suelos y los procesos geomórficos, las formas terrestres y las unidades de paisaje, sobre todo a escalas cercanas al 1:25.000 (Wysocky *et al.*, 2000)

I.2.1. LA REPRESENTACIÓN DE LOS SUELOS EN FUNCIÓN DEL PAISAJE

Los paisajes son unidades territoriales de cohesión entre los componentes y procesos del ecosistema: suelos, hidrología, clima, biota y las influencias humanas; conformando un ambiente multifuncional y seguro, capaz de soportar formas diversas y de alta calidad de vida (Gregorich *et al.*, 2001). Hudson (1992a) se refiere al paisaje como un mosaico de objetos paisaje-suelo, que pueden ser agrupados en un número limitado de clases y con una cobertura de suelos característicos. Los límites entre dichos objetos pueden ser reconocidos y mapeados como discontinuidades en las formas terrestres.

Un suelo-paisaje es un componente del terreno acompañado de una descripción de su componente suelo. En un modelo suelo-paisaje la cobertura del suelo se describe en términos de las propiedades del suelo con base a la caracterización de perfiles modales. Un modelo parcial del suelo-paisaje se refiere a una o pocas propiedades individuales determinadas en una parte del perfil del suelo (De Bruin *et al.*, 1999)

El concepto de la catena de suelos, en su propuesta original, constituye un vínculo entre el paisaje, el mapeo del suelo y el modelaje de la formación del suelo-paisaje. Basado en mecanismos específico controlados por la topografía para la formación de los patrones de suelo: 1) relaciones constantes entre la geología y el relieve, 2) pobre drenaje de los suelos en las posiciones del paisaje más baja, y 3) procesos de formación suelo-paisaje activos, con respecto a los procesos de erosión, depositación y transporte de solutos en las laderas (Brown *et al.*, 2004)

Para la Edafología resulta poco útil el estudio del suelo directamente en función de los procesos de formación del paisaje, debido a la influencia del tiempo de evolución. En lugar de ello, se infieren los procesos geomorfológicos, de las relaciones observadas entre las propiedades del suelo y los parámetros del paisaje. El enfoque tradicional ha sido describir, caracterizar y muestrear una secuencia de perfiles de suelos a lo largo de un transecto de ladera. Para luego inferir los controles que el paisaje ejerce sobre la

formación del suelo; a partir de comparaciones en tablas o gráficos de datos del perfil, con base a la posición en las laderas o elementos del paisaje (Conacher *et al.*, 1977).

Estos estudios se reportan en la literatura como estudios o análisis integrales de toposecuencias (Gobin *et al.*, 2000). Aunque técnicamente, estas se encuentran raramente en la naturaleza, debido a que el material parental, la edad del suelo y la vegetación varían a largo de las laderas, afectando la variabilidad del suelo, este tipo de análisis proporcionan importantes conocimientos en la formación del suelo-paisaje. Aún cuando presenta dos limitaciones: primero los procesos múltiples y / o factores varían de una posición a otra en el paisaje por lo que es difícil de aislar, identificar y cuantificar el potencial de control de los procesos, y segundo, hay una asunción tácita de la homogeneidad del suelo dentro de cada elemento del paisaje, que no siempre puede ser cierto (Brown *et al.*, 2004).

Otro enfoque, empleado con menor frecuencia ha sido analizar las correlaciones entre los parámetros específicos del terreno y las propiedades del suelo, y usar estas correlaciones para inferir el control del paisaje, sobre la formación del suelo. Importantes trabajos en este sentido son citados por Brown *et al.* (2004): “Norton y Smith (1930) examinaron la relación entre la pendiente y la profundidad de iluviación en Illinois mediante análisis de correlación y gráfico. Aandahl (1948) examinó los efectos de la topografía en la formación del suelo, sobre el espesor del horizonte A y contenido de materia orgánica para 15 perfiles indisturbados en el sentido de la pendiente, considerando aspectos como curvatura, la longitud y forma mediante regresión lineal simple, junto con gráficos y análisis tabular. Ruhe y Walker (1968), Walker y Hall (1968a, b) y Walker y Ruhe (1968) realizaron el primer esfuerzo concertado para aplicar las técnicas de regresión múltiple al estudio de la influencia del terreno en la diferenciación de los suelos en Iowa”.

En las dos últimas décadas, se han desarrollado, mejorado y aplicado con éxito las denominadas técnicas edafométricas, las cuales se dirigen a la explicación de las asociaciones entre las características de los suelos y el paisaje (Bell *et al.*, 1992; McKenzie *et al.*, 1999; Odeh *et al.*, 1994;. Odeh *et al.*, 1995), con base estadística

(Moore *et al.*, 1993) y rigurosidad matemática (Minasny *et al.*, 1999, 2001). En estos trabajos se ha reconocido el valor práctico y la fundamentación teórica de los procesos, que subyacen en la formación de la catena.

Otros trabajos están centrados en la aplicación de técnicas estadísticas y análisis digital del terreno para explicar el control del gradiente de la pendiente sobre los procesos de formación de suelos, entre los cuales pueden citarse: la relación entre eluviación y erosión a lo largo de la pendiente (Carter *et al.*, 1991), el control hidrológico en el horizonte A y la profundidad a los carbonatos (Bell *et al.*, 1992); y la evolución geoquímica de una ladera (Park *et al.*, 2002). En estos, destaca la importancia teórica de la catena en el modelado del terreno y la predicción de los suelos; por lo que la comprensión de la influencia del paisaje en la formación del suelo resulta esencial para la implementación y mejoramiento de modelos predictivos.

La generación de un modelo suelo-paisaje, parte de la descripción del terreno a través de la interpretación de imágenes de sensores remotos y otras variables explicativas, como por ejemplo, atributos derivados de un modelo de elevación digital Moore (De Bruin *et al.*, 1998) y de un conjunto de datos específicos de muestras de suelo ubicadas en ese terreno. El tipo de datos de suelo a utilizar en este ejercicio depende de los objetivos, es decir, si persigue el desarrollo de un modelo suelo-paisaje completo o referido a una propiedad o característica. El procedimiento consiste en el cruce o superposición de la información de suelos obtenida para cada componente del terreno para la determinación del control de estas sobre las características del suelo (De Bruin *et al.*, 1999). El mismo es ilustrado en sus pasos en la figura 3.

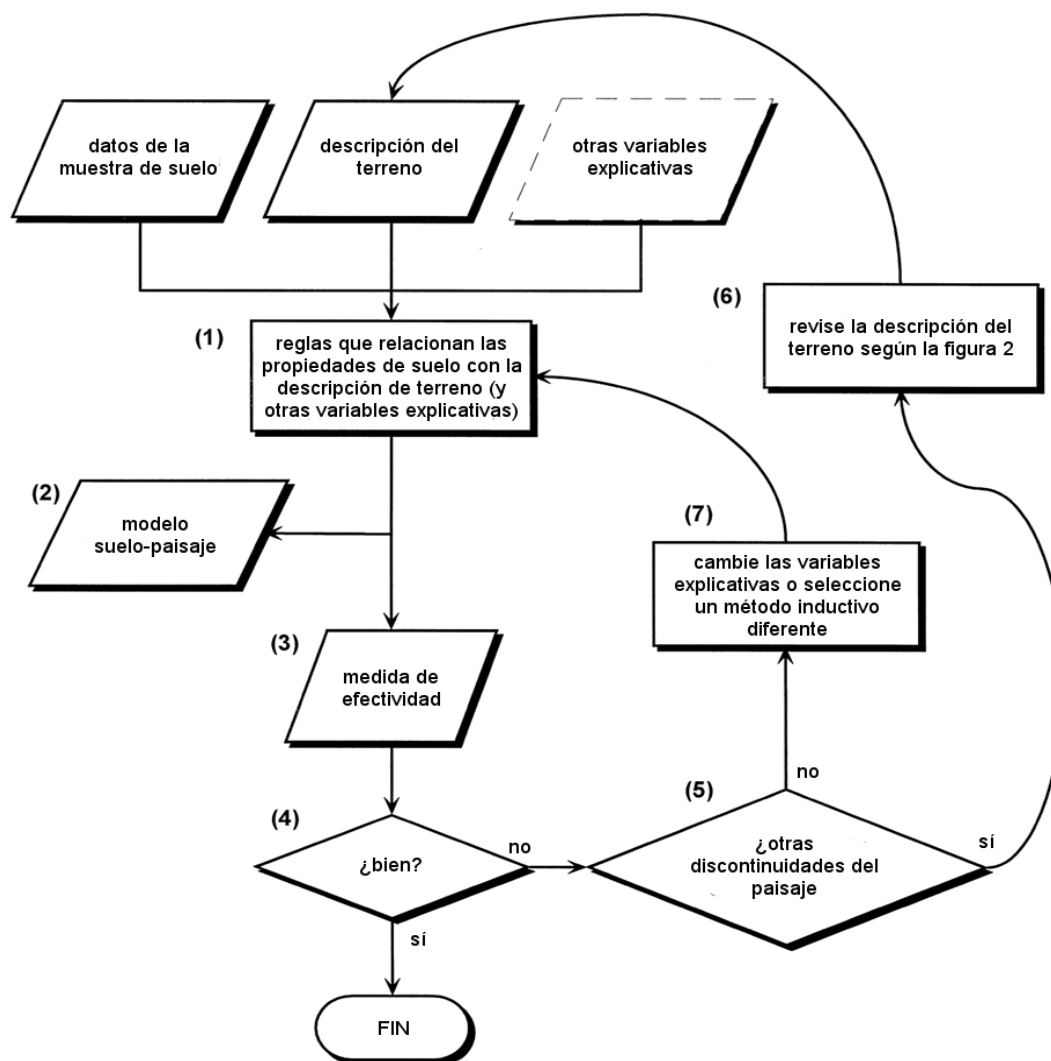


Figura 3. Diagrama de flujo para la elaboración de un modelo suelo-paisaje. Según De Bruin *et al.* (1999)

Los estudios de suelos han estado tradicionalmente dirigidos a la descripción de la variación espacial entre clases de suelos, con límites precisos entre ellos, que implican considerar que las variaciones son discontinuas. A medida que se requiere información más precisa sobre como el suelo varía, con relación al terreno, se ha constatado que este modelo no describe adecuadamente la realidad; ya que aunque puede haber discontinuidades en las características y propiedades del suelo, la variación continua es la más habitual. Sin embargo, debe reconocerse que la clasificación tiene como valor primordial el presentar una impresión inmediata de la variación (Kerry *et al.*, 2011).

Al respecto Larreal (2011), señala que la clasificación es una partición del conjunto de todos los suelos en subconjuntos o clases que parte de la aplicación de una relación de equivalencias, con exigencias crecientes de un nivel a otro para la conformación de jerarquías. El propósito de clasificar los suelos como entes discretos es facilitar su estudio, conocimiento y desarrollar los principios de su respuesta al uso y manejo. Para tal fin, y para aproximar las clasificaciones a la realidad, es necesario definir el grado de homogeneidad de los edafones dentro de una serie de suelos; considerando el grado de similitud de sus características morfológicas, físicas y químicas, dentro de la porción del espacio geográfico representado. En la práctica se considera al edafón como la unidad de muestreo, al poliedafón con una unidad de experimentación agraria y a las unidades cartográficas con el uso y manejo.

La caracterización y mapeo de los suelos ha sido tradicionalmente abordada de manera sistemática a través de chequeos que implican gran trabajo de campo y subsecuente labor de laboratorio. Una práctica habitual para disminuir los costes de levantamiento de la información, es la realización de chequeos en transectos en el sentido de mayor variación, definido normalmente por patrones fisiográficos. Este procedimiento ayudado con herramientas estadísticas es de gran ayuda aunque no resuelve por completo el problema de la variabilidad dentro de las unidades de mapeo (Larreal, 2011)

Los mapas taxonómicos de suelo, producto de la prospección edafológica, son considerados como herramientas básicas para la planificación del uso y manejo y la realización de múltiples interpretaciones temáticas. Sin embargo, la complejidad de la variabilidad de suelos dificulta la realización de inferencias a la totalidad del territorio, ya que todos los mapas implican un cierto nivel de incertidumbre (Marchetti *et al.*, 2011); esto debido a que los suelos presentan la tendencia a variar de forma continua y con frecuencia algunos edafones representan indistintamente objetos diferentes (Phillips *et al.*, 2007)

Los estudios de suelos tradicionales han sido entonces criticados, por su alto costo, tiempo de ejecución y fallas en la precisión lo que llevó a la aplicación de

técnicas geoestadísticas para el mapeo de suelos (Burgess *et al.*, 1980); el cual es igualmente exigente en datos de campo. Estas razones explica porque a nivel mundial hay carencia de información de suelos para los niveles regional, local y predial (Mcbratney *et al.*, 2003). La reducción del esfuerzo de muestreo que exige el método del semivariograma, o la posibilidad del mapeo digital requieren vincular los factores formadores materiales parentales y relieve a través de la ubicación topográfica con la variabilidad espacial de los suelos, a diferentes escalas (Kerry *et al.*, 2011).

En casos en los que la información de suelos es inexistente y requerida con apremio, el proceso puede ser simplificado mediante el denominado enfoque del paisaje edáfico. El mismo parte de lo señalado por Hudson (1992b) en cuanto a que el levantamiento de suelos es un procedimiento con base científica, basado en los conceptos de los factores de formación del suelo, junto con las relaciones suelo-paisaje. Por lo tanto, los patrones espaciales de las propiedades del suelo en un paisaje son el resultado de las variaciones sistemáticas en los procesos pedogenéticos, controlados por los factores ambientales, cuya información sobre la distribución espacial de las propiedades del suelo es necesaria no solo para la clasificación y mapeo de suelos, sino también para las gestiones de uso y manejo

Con base en esta premisa, el suelo representa una posición dentro del paisaje geomorfológico, en el que se combinan activamente la geomorfología y la edafología; la descripción geomorfológica suministra los límites cartográficos de las unidades de mapeo o muestreo, mientras que la edafología proporciona el contenido edáfico de dichas unidades en términos de componentes taxonómicos o propiedades de suelo (Zinck, 2006).

Para este respecto y a los fines del manejo, el suelo debe ser considerado como una entidad discreta, vinculada con una determinada forma terrestre, diferenciado a través de rasgos o descriptores objetivos, de interés para el manejo tales como: profundidad efectiva, capacidad de intercambio catiónico, saturación básica, carbono orgánico, fragmentos gruesos, presencia de condiciones de oxido reducción, horizontes maestros, pH, y gradaciones granulométricas (Phillips *et al.*, 2007).

El resultado es la representación en el plano de las propiedades de suelo de interés o la clasificación de los mismos a través de algún sistema como la taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 2010) o la leyenda del mapa mundial de suelos de la FAO-UNESCO (FAO, 2003). La porción del espacio geográfico representada en un mapa se convierte en una unidad de tierra, al considerar que tiene cualidades específicas en cuanto a clima, vegetación, uso y manejo, Por lo cual se considera como el foco central para la interpretación y valoración de los suelos; así como la evaluación de tierras (FAO,1983).

I.2.2. USO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SUELOS PARA LA VALORACIÓN DEL MISMO COMO ELEMENTO DEL PAISAJE.

La información de suelos obtenida para una catena, en sus diferentes posiciones relativas, resulta de gran utilidad para dar respuestas precisas a los usuarios del recurso, en cuanto a las prácticas de manejo necesarias para mejorar o mantener los rendimientos a bajos costos, a nivel de campos, lotes y edafones. Si la información física y química es de calidad, habrá suficiente precisión para tomar decisiones en cuanto al uso de la tierra, con posibilidad de enlazar con otros niveles de planificación. Esto es porque los suelos no ocurren de manera aleatoria en el paisaje, sino que son el producto de procesos geomorfológicos y de formación, en las condiciones agroecológicas propias de un área (Bouma, 2000).

Las respuestas debería expresarse en términos de la productividad del suelo, para lo cual las condiciones físicas como: la textura, la densidad aparente, la profundidad efectiva, la retención de humedad; y las químicas como: el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la saturación básica y la conductividad eléctrica entre otras, aportadas por la caracterización de estos resultan de gran utilidad. Si además de considerar las funciones del suelo en el ambiente, se le analiza en su relación con los aspectos socioeconómicos, en lugar de calidad de suelo, se habla del concepto de productividad de la tierra. Ambos tiene mucha relación con la agricultura y se emplea como referencia para la valoración de los predios en operaciones de compra venta o

para juzgar los resultados en cuanto a los rendimientos de un cultivo dentro de un determinado sistema de manejo (Singer *et al.*, 2000).

La productividad del suelo guarda relación con el concepto de calidad del suelo, al punto que se le considera incluido dentro de este (Kelting *et al.*, 1999). Este último concepto considerado de gran amplitud y conexo con la calidad del agua y el aire; es expresado con base al cumplimiento de funciones del mismo en ecosistemas naturales o manejados relativas al soporte para plantas y animales, la producción de biomasa, regulación hidrológica y mantenimiento o mejoramiento de la calidad del agua o el aire. Para su estimación no se ha establecido un valor único, sino con base a indicadores relacionados con la sostenibilidad y calidad ambiental, partiendo de los índices de productividad del suelo (Doran *et al.*, 1994). De igual forma que para los procedimientos de caracterización de suelos, este concepto puede ser objeto de seguimiento a diferentes escalas, partiendo del nivel local en campos, lotes y cuencas a través de un índice de calidad de suelos SQI, tal como se ilustra en figura 4 (Karlen *et al.*, 1997).

La degradación de la calidad del suelo se manifiesta en los acuciantes problemas de erosión, compactación, acidificación, pérdida de materia orgánica, la desertificación y la contaminación química, lo que reduce su capacidad de producción de alimentos, fibra y energía. Este proceso también ha contribuido al desmejoramiento del funcionamiento de los ecosistemas a través de la contaminación del agua, la alteración de los balances hídricos, la reducción de la diversidad de plantas y animales (Larson *et al.*, 1991).

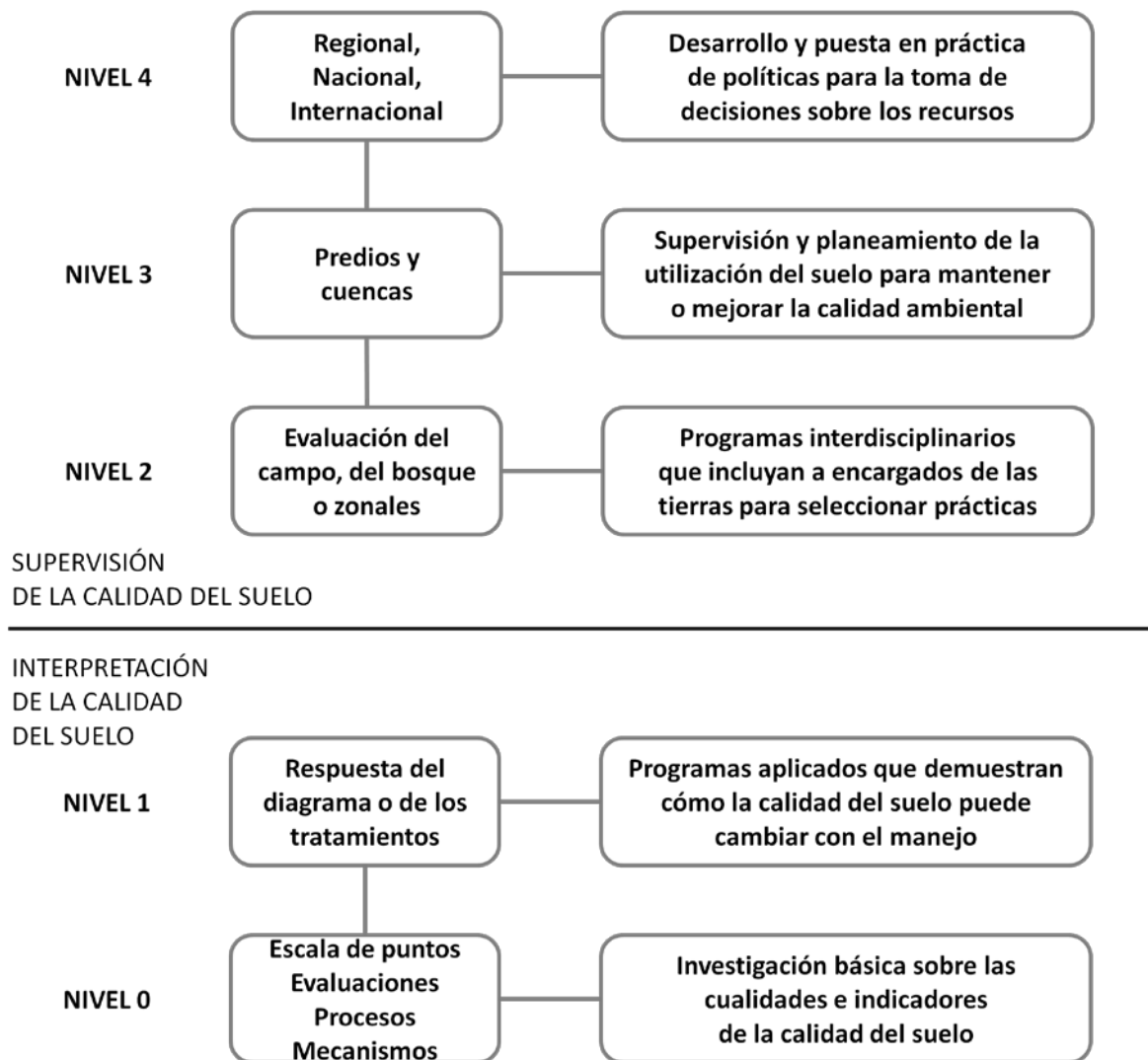


Figura 4. Niveles de escalas para la evaluación de la calidad del suelo. Según la fuente Karlen *et al.* (1997).

I.2.2.1 METODOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO O DE LA TIERRA.

La calidad del suelo o de la tierra según sea el caso, ha sido tratada a través de métodos cualitativos, en los que los suelos son asignados a una determinada clase o categoría en función de sus características y cuantitativos en los las características se integran para dar un valor numérico.

I.2.2.1.1 METODOS NO CUANTITATIVOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO.

CAPACIDAD AGROLOGICA (USDA) Y FINES DE RIEGO (USBR).

Propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (Klingebiel y Montgomery, 1961), como una herramienta para la planificación de labores de campo a nivel local. Con el propósito de seleccionar prácticas de cultivo adecuadas para cada unidad del paisaje para producir por largos periodos de tiempo sin deteriorar al suelo.

Este esquema de interpretación aplica la ley del mínimo, y parte de la identificación y categorización por grados de las limitaciones asociadas al suelo como la fertilidad, salinidad, profundidad de enraizamiento y textura; al terreno como el gradiente de pendiente, susceptibilidad a la erosión o la tendencia a la inundación y las condiciones climáticas como riesgos de heladas o sequías. Mediante un diagrama de flujo y dependiendo de los factores y sus grados de limitación, se le asigna una clase a cada unidad de tierra. Las clases se expresan en números romanos y van de I, para las unidades de tierra con todos los factores favorables; hasta VIII, para aquellos casos en que un factor o la suma de los efectos de estos, determina un alto riesgo de deterioro del suelo si es usado bajo cultivos; con un grado de limitación que crecientemente a medida que sube la clase (Singer *et al.*, 2000).

Su aplicación ha sido muy extendida, y en muchos casos se ha comprobado que las unidades de tierra con clases más altas entre I y III, presentan normalmente mayores rendimientos y relaciones beneficio costo más favorables (Reganol *et al.*, 1984). Sin embargo, a pesar de ser una herramienta sencilla y de gran utilidad, la capacidad de uso fue muy criticada por su enfoque muy dirigido al control de la erosión, la falta de vinculación con las exigencias de los cultivos, el alto grado de subjetividad en la valoración del grado de limitación de los factores y por ser meramente descriptivo, y por lo tanto incapaz de dar una cuantificación de la calidad del suelo (Morgan, 1996).

Mucha similitud con el esquema de capacidad agrológica, presenta el de interpretación con fines de riego (USBR, 1953), en el que además de aspectos físicos se incluyeron aspectos socioeconómicos como la capacidad de pago y el nivel de vida del agricultor, propuesto por la oficina de recuperación de tierras de los Estados Unidos, pero sin base cuantitativa (Singer *et al.*, 2000).

ESQUEMA DE EVALUACION DE TIERRAS DE LA FAO

La evaluación de tierras es un proceso integrado para la valoración del potencial productivo de la tierra en función del grado de adecuación o aptitud de las mismas para fines diversos; los cuales son denominados tipos de utilización de la tierra TUT, reconocidos estos como formas de ocupación territorial dedicadas a la obtención de algún bien o producto. Puede estar representada por un cultivo, secuencias de cultivos y/o sistemas de estos (Bouma, 2000).

En concreto la evaluación de tierra es un procedimiento de comparación entre la oferta ambiental representada por las condiciones de suelo y clima, con las exigencias del tipo de utilización, a través de las matrices de armonización, en el que se define el grado de aptitud para un uso determinado, desarrollado en la zona o con posibilidades de serlo (FAO, 1983).

El procedimiento de aparejamiento requiere la definición de las cualidades y característica de la tierra. Las primeras son atributos complejos, que muchas veces no pueden ser medidos directamente, como por ejemplo la capacidad de suplencia de humedad, la trabajabilidad y la traficabilidad. Los cuales varían ampliamente en el tiempo, y deben ser valorados durante la estación de crecimiento. Dada su compleja determinación se les ha aproximado a características de la tierra determinables con facilidad como la textura, la materia orgánica y contenido de carbonatos entre otros (FAO, 1976).

Una vez definida las características de la tierra de importancia para el área de interés, deben establecerse los requerimientos o exigencias de los tipos de utilización. Para ello se requiere del conocimiento de los productores, los técnicos especialistas en cultivos y de resultados de investigaciones realizadas a nivel local. Mucha de la cual se encuentra sistematizada, disponible y con ejemplos prácticos en Sys *et al.* (1991).

Los esquemas clásicos de evaluación de tierras han sido aplicados exitosamente en gran diversidad de situaciones, con la ayuda de ordenadores. Sin embargo, en muchos casos se les ha criticado la aplicación de manera mecanicista sin definir claramente, los propósitos, los tipos de uso de la tierra de interés, las cualidades de la tierra y por no considerar los aspectos socioeconómicos ni la escala adecuada (Bouma, 2000). Para lo cual este autor propone, el establecimiento de los propósitos de la evaluación, así como la información o grado de conocimiento necesario, con base al diagrama ilustrado en la figura 5. En el mismo el eje vertical representa la escala espacial de evaluación que puede variar desde un edafón o sus horizontes hasta el nivel mundial. La horizontal representa los niveles de conocimiento e información involucrados en el proceso. Inicia con K1 que es el nivel de usuarios del recurso, K2 el conocimiento de especialistas locales, K3 representa la información generada por herramientas semi-cuantitativas; y K4 y K5 el conocimiento obtenido a través de modelos cuantitativos, este último con mayor complejidad y detalle.

La aplicación de esta propuesta promueve la participación activa de comunidades rurales y agricultores en el proceso de evaluación de tierras a nivel local. La cual es determinante para la toma de decisiones en cuanto a la introducción de nuevas prácticas de manejo, nuevos tipos de utilización de la tierra (Barrera-Bassols *et al.*, 2008), y la evaluación participativa de la calidad de los suelos y los fenómenos de degradación de recursos (Tsfahunegn *et al.*, 2011).

Este punto de vista obliga a pensar cual método de valoración es el más adecuado lo cual sin duda dependerá de los objetivos y el alcance definido este último por la escala o nivel de aplicación. En forma general, la mayoría de los métodos han

sido reportados para aplicación local, pero con ciertos ajustes pueden ser empleados a niveles más generalizados.

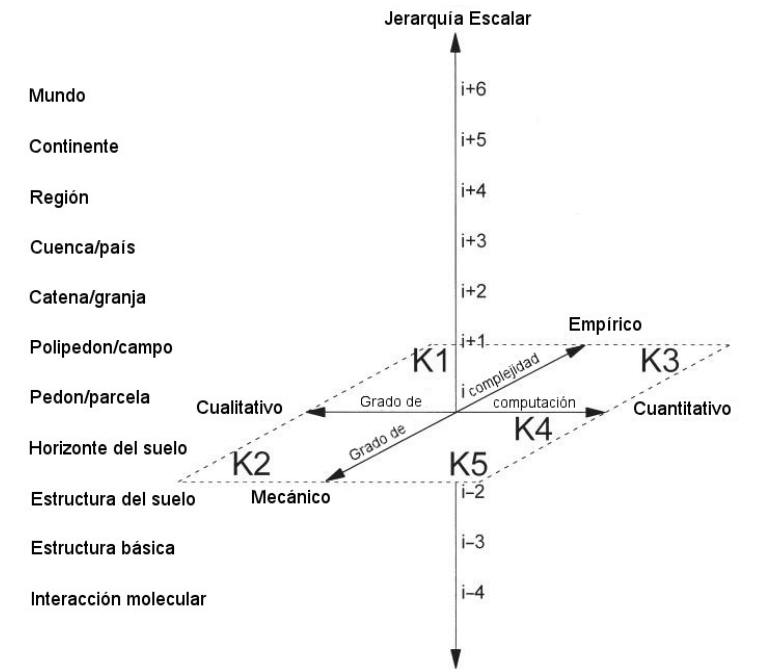


Figura 5 Diagrama tipo para la representación jerárquica de las relaciones entre escal, nivel de conocimiento y grado de complejidad del procesamiento. Según la fuente Bouma *et al.* (1996)

I.2.2.1.2. METODOS CUANTITATIVOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO. INDICES DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE SUELO.

Estos métodos están centrados en determinar un valor o índice de la calidad del suelo, partiendo de dos conceptos importantes productividad del suelo y productividad de la tierra (FAO, 1976). El primero es una función de los factores físicos como material parental, topografía, propiedades físicas y químicas, y la infraestructura de riego y drenaje, y por lo tanto más estable. El segundo representado por el componente socioeconómico vinculado a la agricultura, en términos de producto animal o vegetal obtenido por unidad de superficie, el cual depende altamente del manejo gerencial de las unidades de producción, del nivel educativo y de conocimiento de los agricultores y hasta de las políticas agrícolas. Dentro de ciertos límites, relacionados con los cultivos, pueden afirmarse que los aspectos físicos de la productividad del suelo, representan el

potencial de productividad de la tierra. Por lo tanto, comprender la productividad del suelo es de gran significación para la planificación y gestión de una agricultura más racional (Zhang *et al.*, 2004).

Para la evaluación de la productividad del suelo en un momento dado y a escala específica, es necesaria una adecuada elección de los factores de evaluación, con base a varios principios. En primer lugar, los factores elegidos deben tener un efecto significativo en la productividad del suelo, que normalmente pueden ser identificados a partir de las relaciones entre estos y el rendimiento de los cultivos. En segundo lugar, el valor de un factor elegido debe tener un rango considerable entre los diferentes suelos y tipos de uso; y en tercer lugar, es importante la estabilidad de los factores para cualquier unidad de suelo y forma de utilización de la tierra. En este sentido, la topografía y el material parental se consideran los factores de evaluación más estables junto a la profundidad del suelo y la textura, mientras que propiedades como la salinidad, el nivel de nutrimentos, y la materia orgánica, muy influenciadas por el manejo se consideran poco estables (Pieri *et al.*, 1995). Sin embargo, en algunos casos de una evaluación a pequeña y mediana escala, para usos muy específicos, pudiera ser necesario tomar en consideración características poco estables relacionadas con la fertilidad. Por ejemplo la disponibilidad de Silicio resulta de interés para la valoración del suelo con fines del cultivo de arroz, pero tal vez no para otros rubros (Zhang *et al.*, 2004).

El método de evaluación empleado, es una cuestión fundamental para este proceso. Puede ser abordado a través de experiencias de campo, para medir el rendimiento de las plantas cultivadas. A este respecto Burger (1996), en su trabajo crítico con relación al uso de los bioensayos para valorar el impacto de las prácticas de manejo sobre la productividad del suelo, demostró que el crecimiento de las plantas no era una medida confiable para tal fin; por lo que concluyó que tal evaluación debía hacerse considerando los efectos sobre las propiedades del suelo relacionadas con la productividad.

Los métodos basados en el efecto a largo plazo sobre las propiedades del suelo, han sido ampliamente utilizados, dada la ventaja de representar la complejidad sistemática de la productividad del suelo bajo condiciones naturales, a través de la utilización de ecuaciones o modelos matemáticos (Burrough, 1989; Dobermann *et al.*, 1997; McBratney *et al.*, 1997). Sin embargo, los efectos de algunos factores no son fácilmente demostrables por las ecuaciones, por lo que la opinión de los técnicos, basada en el conocimiento de la realidad local, debe ser incorporada para la obtención de datos confiables a través de herramientas como el panel de expertos y procesos de análisis jerárquico (Marggraf, 2003; Ananda *et al.*, 2003).

Los resultados se expresan normalmente a través de un índice de productividad, el primero de los cuales fue desarrollado por Storie (1933). A partir de rangos, para la textura, la profundidad, el drenaje, la alcalinidad y la morfología del perfil. La textura fue considerada como un indicador de los efectos de la porosidad, permeabilidad y estructura sobre la productividad del suelo, integrados en la ecuación:

$$\text{Indice Storie} = 100 \times (A \ B \ C \ X)$$

donde A es la morfología; B es la textura; C es el factor terreno y X es resultado de seis variables (salinidad, alcalinidad, drenaje, acidez, erosión y fertilidad).

Los rangos varían entre 0 y 100%, y fueron asignados a cada propiedad mediante un sistema de clasificación inductivo, basado principalmente en un juicio subjetivo a cerca del peso de cada propiedad sobre la productividad potencial total. Para probar la confiabilidad del modelo, los resultados de productividad fueron confrontados con los rendimientos de los cultivos (Singer *et al.*, 2000).

Del índice de Storie, se han derivado otros aplicando modelos aditivos, multiplicativos o de una función matemática más compleja, cuyo resultado se expresa normalmente con un valor creciente para los suelos con mayor productividad, con base al peso relativo de los factores considerados para el modelaje. Un buen ejemplo es el

modelo desarrollado por Pierce *et al.* (1983) quienes citando a Kiniry *et al.* (1983), desarrollaron un modelo para determinar el efecto de la erosión sobre la productividad del suelo. Este toma como base propiedades físicas y químicas que afectan la cantidad y calidad del volumen de suelo explorado por las raíces, tales como densidad aparente, agua disponible y pH. Para cada factor se definieron niveles de suficiencia, que multiplicados por un factor de ponderación para cada horizonte, establecido con base a un patrón de enraizamiento ideal, arroja un valor parcial por cada horizonte. El valor total de la productividad viene dado entonces, por la suma de dichos valores parciales.

Otra vía es la aplicación de modelos paramétricos discretos como los propuesto por Riquier *et al.* (1970) y Delgado (1995), en los que los factores edáficos, ambientales y del terreno se integran de manera sencilla para conformar un índice de productividad del suelo a través de valores discretos aplicados a un modelo multiplicativo.

El modelo multifactorial multiplicativo de Riquier, a pesar de haber sido planteado hace casi cuarenta años, es frecuentemente empleado en estudios ecológicos y ambientales, en los que se le reporta como una herramienta sencilla, de gran utilidad en la valoración de los suelos con relación al rendimiento y vigor de los cultivos, el flujo de energía en los ecosistemas y los requerimientos de manejo a nivel local (Latterra *et al.*, 2011; Viglizzo *et al.*, 2004 Gálvez *et al.*, 2003).

Los parámetros de suelo y clima propios de cada unidad de suelo, son comparados con los parámetros tabulados, por el modelo de Riquier *et al.* (1970) con lo que se obtiene un valor parcial de cada factor. Se considera que el suelo ideal sin limitaciones tendría un valor de IP=100, y con $IP < 20$ estarían los suelos no deseables para ocupación agrícola. Este procedimiento es práctico por requerir menor número de observaciones y de gran utilidad para estimar un valor puntual potencial productivo del suelo, basado en sus limitaciones para la selección de cultivos. Además permite estimar la productividad potencial, una vez corregidas o atenuadas las restricciones a través de alguna transformación agronómica.

El modelo índice de productividad propuesto por Delgado (1995), fue adaptado a las condiciones de Los Andes venezolanos a partir de la propuesta de Pierce *et al.* (1983). El mismo tiene la siguiente expresión general:

$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot K_i)$$

donde: IP es el Índice de Productividad del suelo; A_i es el parámetro que evalúa las relaciones agua-aire del horizonte i ; B_i es el parámetro que evalúa la facilidad para la exploración radical del horizonte i ; C_i es el parámetro que evalúa la fertilidad potencial del horizonte i ; K_i es el factor de ponderación del horizonte i ; n es el número de horizontes en el perfil del suelo hasta 100 cm de profundidad.

A manera de resumen, la tabla 1 presenta los métodos para valoración de la calidad del suelo y la tierra en función de su tipo, expresión de la calidad y escala de aplicación comúnmente señalada en literatura relacionada.

Tabla 1 Resumen de los métodos para la evaluación de la calidad de suelos y tierras

Método	Tipo	Expresión de la calidad	Escalas a las que ha sido empleado
Capacidad Agrológica (USDA)	Cualitativo	Clases (I- VIII)	Local –Regional
Riego (USBR)	Cualitativo	Clases (1-6)	Local –Regional
Indice de Storie	Cuantitativo	0-100	Local
IP Riquier	Cuantitativo	0-100	Local –Regional
IP Pierce	Cuantitativo	0-1	Local
IP Delgado	Cuantitativo	0-1	Local
SQI Karlen	Cuantitativo	0-1	Nacional-Regional-Local
Evaluación de tierras FAO	Cualitativo cuantitativo	Grado de aptitud para un uso	Nacional-Regional-Local

IP= índice de productividad, SQI= Índice de calidad de suelos

II. OBJETIVOS

II. OBJETIVOS

II. 1. OBJETIVO GENERAL.

Definir un modelo edafo-geomorfológico detallado, delimitable a escalas mayores o iguales a 1:20.000, determinando los factores, procesos y características del paisaje de suelos, con incidencia en la complejo Degradación-Recuperación y en las necesidades de manejo de los suelos localizados en un sector del Municipio Machiques de Perijá, del estado Zulia, Venezuela.

II. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Seleccionar un área representativa del sector problema dentro de la cual se delinearán las unidades de paisaje típicas del mismo.
2. Ubicar en el área de estudio transeptos o secciones transversales al sentido de la sedimentación de los materiales que han dado origen a los suelos de la misma.
3. Caracterizar, a nivel detallado, las unidades edafo-geomorfológicas más representativas del sector en estudio, determinando los factores y procesos que han intervenido en su formación, transformación y degradación, estableciendo en cada caso el balance general de dichos procesos.
4. Seleccionar las unidades de paisaje más representativas de la problemática a analizar en esta investigación, ubicando dentro de ella parcelas experimentales para la realización de ensayos de campo.
5. Determinar los factores, procesos y características que más influyen en la retroalimentación del complejo Degradación-Recuperación y en las necesidades de manejo de los suelos bajo estudio.

6. Definir el modelo edafogeomorfológico final como base metodológica útil para el establecimiento de prácticas de manejo conservacionistas o recuperativas de los suelos más representativos del sector bajo estudio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se describen los procedimientos seguidos para la formulación del modelo edafogeomorfológico. Estos fueron seleccionados con base a los criterios establecidos para el análisis integrado de toposecuencias (AIT), propuesto por Gobín *et al.* (2000).

El AIT consiste en una caracterización biofísica que considera 4 factores principales: formas terrestres, suelos, uso de la tierra y vegetación; que deben ser analizados a lo largo de una sucesión de relieves en el sentido de la pendiente. A partir de esta propuesta, se realizaron las siguientes actividades:

1. Selección de un área representativa: con base en una fotointerpretación de sensores remotos, en pares estereoscópicos, utilizando también imágenes satelitales con el propósito de delimitar unidades de paisaje a escalas 1:20.000, para la selección la unidad más representativa para cumplir con los objetivos propuestos.
2. Caracterización geomorfológica y edáfica de la unidad de paisaje seleccionada: a través de los procedimientos establecidos para la realización de los estudios detallados de suelo, mediante la técnica de campo del método del transepto perpendicular al sentido de la mayor variabilidad edafo-geomorfológica de la sección del paisaje.
3. Determinación del balance edafo-geomorfológico de la unidad de paisaje seleccionada: mediante una estimación de campo al momento de realizar la caracterización de la unidad de paisaje, determinando la relación cualitativa entre los procesos de Ganancias, Transformaciones y Pérdidas que han incidido en el origen y condición de estado actual de dicha unidad.
4. Elaboración de una base de datos, a partir de la cual se efectuaron los análisis estadísticos uni-multivariados.

5. Determinación de los factores y procesos que actúan en la Agradación-Degradación de los suelos y las necesidades de manejo de suelos del área de estudio.
6. Definición del modelo edafo-geomorfológico final como base metodológica útil para el establecimiento de prácticas de manejo conservacionistas o recuperativas de los suelos más representativos del sector bajo estudio.

III. 1. INFORMACION GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO:

III.1.1 UBICACIÓN NACIONAL, REGIONAL Y LOCAL. GEOLOGIA.

La Machiques Colón se ubica en el nivel nacional, en la región fisiográfica de la depresión del Lago de Maracaibo. Esta última constituye una gran unidad ubicada al extremo occidental de Venezuela, reconocida como una mega cuenca internacional, conformada por todas las tierras cuyas aguas de escurrimientos fluyen hacia el Lago de Maracaibo. Ocupa una extensión de 74.000 km², la mayor parte de los cuales, 62.000 km², se ubican en territorio venezolano y el resto en la República de Colombia. El espejo de agua del Lago de Maracaibo tiene una extensión de 13.000 km², lo deja una extensión de tierras de aproximadamente 48.000 km², correspondientes a la totalidad del estado Zulia y parte de los estados Mérida, Táchira y Trujillo (COPLAHARH, 1974).

Dentro del estado Zulia, correspondiente con el nivel regional, este sector se ubica en el margen Sur Occidental del lago, ocupando una extensión de 500.000 has, denominadas como colinas y lomas de la Machiques-Colón. La misma se extiende entre el pie de monte de la Sierra de Perijá, al Oeste y los terrenos de origen aluvial, de las planicies sub-actual y actual de los ríos Santa Ana, Guamito y Guaco, al Este; las sabanas de la Villa del Rosario, al Norte y las planicies del río Catatumbo al sur (COPLANARH, 1975). La ubicación del área en el contexto internacional, nacional y regional se detalla en la figura 6.

De esta gran unidad se seleccionó como área muestra la cuenca Cañada Gorda, esta es una subcuenca del río Guamito, ubicada en el municipio Machiques de Perijá,

con coordenadas geográficas latitud 10° 04' 14"- 9° 55' 58" y longitud 72° 30' 24"- 72° 25' 03", con datum horizontal La Canoa (PSAD 56). Según las imágenes de satélites y los datos cartográficos, esta ocupa un área de 15.000 ha. Para el nivel de fincas, se seleccionó un área 300 ha ubicadas en una microcuenca denominada caño Los Monos.



Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio

La base geológica del área y principal material parental, según COPLANARH (1975) corresponde a la formación La Villa, la cual se caracteriza por presentar un predominio importante de las areniscas combinadas con pocas lutitas y arcilitas en forma de capas y cuñas según el léxico estratigráfico de Venezuela (Ministerio de minas e hidrocarburos, 1956).

III.1.2 CARACTERIZACION CLIMATICA. PRECIPITACION, TEMPERATURA, REGIMENES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.

III.1.2.1 PRECIPITACIÓN

Partiendo de los registros de lluvia acumulados para periodos de diez días, correspondientes a la estación del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN), la Granja-Machiques, sistematizados por Rincón (2006) entre los años 1990-1997; se elaboró un balance hídrico decadiario; con el propósito de determinar gráficamente la condición de humedad climática y la duración del periodo de crecimiento (DPC).

Según se ilustra en la figura 7, durante un lapso de 230 días, entre los meses de Marzo y Octubre (decadiarios 8-30) la precipitación supera la mitad de la evaporación; en ese periodo, los decadiarios 12-15 y 23-31, presentan precipitaciones superiores a la evaporación. Gráficamente, se demuestra una distribución bimodal de las lluvias. Con una primera moda entre los meses de Abril-Mayo-Junio concentrando el 32% del volumen total anual. La segunda entre Agosto-October, que concentra 36% del total. Los promedios anuales de precipitación y evaporación para los años analizados fueron 1.600,68 mm y 2.304 mm respectivamente (ver anexo 1, registros climáticos de la estación La Granja Machiques).

El clima es considerado como subhúmedo-húmedo al presentar un índice de humedad ($P/Ev=0,69$) (De la Rosa, 2008). Presenta 115 días húmedos en los que la precipitación supera a la evaporación; 115 días semisecos con precipitación mayor a 1/2 de la evaporación y 135 días secos con precipitaciones menores a la evaporación. De acuerdo a esta tendencia, la duración del período de crecimiento (DPC), según los criterios de la FAO (1997) es de 230 días, con sequías entre 3 y 4 meses.

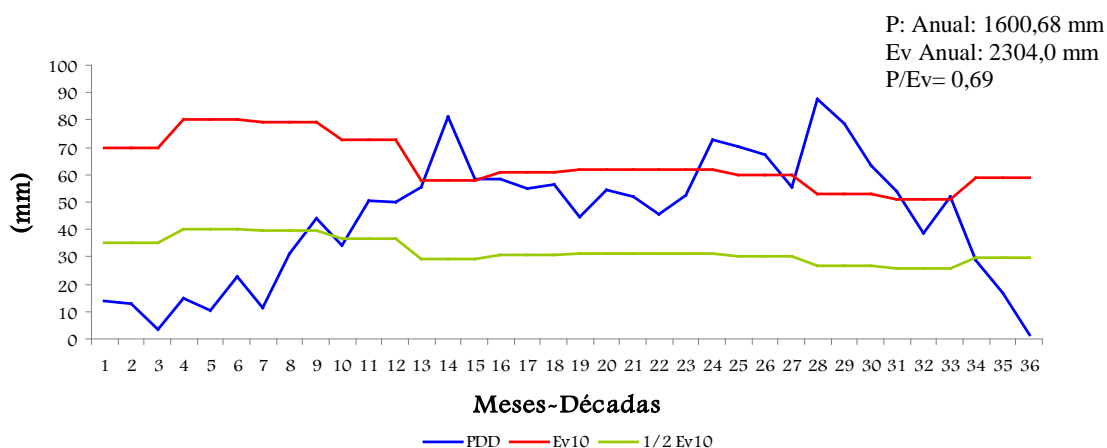


Figura 2. Determinación de la condición de humedad y duración del periodo de crecimiento (DPC) con base a la distribución decadiario de las lluvias y la evaporación.
Fuentes: Anuarios estadísticos (MARN, 1990-1997 y Rincón, 2006).

III.1.2.2 TEMPERATURA, REGIMEN DE TEMPERATURA, REGIMEN DE HUMEDAD, ZONA DE VIDA Y CLASIFICACIÓN CLIMATICA SEGÚN KOEPPEN.

Los registros de temperatura para la misma estación climatológica (anexo 1), señalan una temperatura media de 28,2 grados Celsius, sin variaciones que superen 1 grado Celsius entre los meses más frescos y más calurosos del año. Este patrón de temperaturas permite ubicar al área con un régimen de temperatura de los suelos isohipertérmico (Medias $>22^{\circ}\text{C}$ y variaciones estacionales inferiores a 5°C), según los criterios de la taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 2010), con lo que se puede anticipar condiciones de edafogénesis activa durante todo año y limitaciones climáticas al crecimiento vegetal determinadas por la distribución de las lluvias. Los regímenes de humedad del suelo según los registros climáticos y los reportes de investigaciones previas (Jiménez *et al.*, 2004), corresponden al Ustic en las posiciones altas del terreno y Aquic en las posiciones más bajas.

El mapa de zonas de vida de Venezuela MARNR-2003 y la zonificación agroecológica del estado Zulia, ubican el área de interés en la región natural norte de la cuenca del Lago de Maracaibo, correspondiente a la zona de vida del bosque seco tropical, con un clima tropical con lluvias en verano, según el sistema de clasificación climática de Koeppen (RENTAGRO, 2005).

III.1.2 USO DE LA TIERRA Y COBERTURA VEGETAL

La zona destaca por el alto grado de intervención humana sobre los ecosistemas. La actividad económica dedicada fundamentalmente a la ganadería con doble propósito (producción de carne y leche en la misma finca) y en menor grado a la producción en pequeña escala de cultivos de raíces y tubérculos (*Manihot sculenta* L.) y frutales como merey (*Anacardium occidentale*) y onoto (*Bixa orellana*). La ganadería junto a la extracción forestal han sido considerados como los causantes de los procesos de degradación observados en la zona, puestos en evidencia por la erosión activa.

III.2 DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACION DEL MODELO EDAFOGEOLOGICO.

III.2.1 MATERIAL CARTOGRAFICO, FOTOGRAFIAS AEREAS E IMAGEN DE SATELITE.

Para la descripción de aspectos como la ubicación en cuanto a la región fisiográfica, región natural y zonificación agroecológica en el contexto regional se empleó la base cartográfica 1:500.000 para el estado Zulia (RENTAGRO, 2004). Para el nivel municipal, se empleó la carta de cartografía nacional a escala 1:25.000 (5745 IV NO), en la cual se delimitó el área de estudio.

La visión general de la conformación del paisaje del área se obtuvo a partir de la de las fotografías aéreas 324-326, de la misión número 0101223 del año 1975 a escala 1:20.000; y de la imagen satelital SPOT 5 647-330 nivel 1A con resolución espacial de 10 m, del año 2006. A partir de esta imagen se generó un modelo digital de elevación utilizando el programa global mapper, mediante la aplicación del modelo SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission) con 3" de resolución en el ecuador, equivalentes a 90 m en la horizontal (Codallo y León, 2008, citados por Royero (2010)).

III.2 .2 PROCEDIMIENTOS DE CAMPO

Fueron realizados según lo establecido por el Ministerio del Ambiente y Recursos naturales (MARNR. 1980), los cuales consideran la recolección, a nivel de campo, de datos relativos a la geomorfología, vegetación, uso de la tierra e impacto de las actividades humanas en cuanto a los procesos de ganancias y pérdidas (erosión-sedimentación).

III.2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE GEOMORFOLOGICO

Se aplicó el esquema propuesto para Venezuela por Zinck (1986). El mismo ha sido establecido como el marco referencial para estudios ambientales por el organismo rector de la materia en Venezuela, Ministerio para el Ambiente y Recursos Naturales. La desagregación jerárquica de las formas terrestres según dicho esquema, se detalla en la tabla 2, en función de las escalas empleadas para los diferentes tipos de estudios. En este caso se consideraron los atributos relevantes para el nivel local, aplicables para estudios a escalas mayores a 1: 20.000.

A partir de la configuración del área, visualizada a través de las fotografías aéreas, la imagen de satélite y los recorridos de campo, se identificaron las formas terrestres mayores en términos del tipo de paisaje y las posiciones geomorfológicas. Con estas últimas se separaron seis posiciones jerarquizadas en el sentido de la pendiente, de mayor a menor elevación. Las mismas fueron descritas mediante transeptos en el sentido perpendicular y longitudinal a la pendiente, con observaciones distanciadas cada 100 m (Gobin *et al.*, 2000).

En campo se ubicaron 15 parcelas de observación con dimensiones de 10mx20m, por cada posición del terreno distinguida, para un total de 90 observaciones. En cada una se describieron: los procesos geomórficos, a partir de patrones visibles en el campo, tales como: ausencia de cobertura vegetal, presencia de materiales arrastrados, cárcavas, surcos y otras evidencias de erosión-sedimentación; y los atributos del terreno para el nivel local, la elevación sobre nivel del mar determinada con un altímetro y la pendiente y su forma dominante, con un clisímetro marca suuto modelo PM- 5/360 PC (034162). Estos últimos atributos, fueron descritos en conjunto y

codificados de la siguiente manera: 1) para pendiente de 0-3% y forma plana, 2) para pendiente entre 3-8% y forma suavemente ondulada y 3) para pendiente mayores de 8% con formas fuertemente onduladas. Esto debido a que es el esquema comúnmente aplicado en el país.

Tabla 1. Esquema básico para la caracterización geomorfológica y morfométrica a diferentes escalas según Zinck.

Nivel-Escala	Concepto Geomorfológico	Atributos relevantes
Continental E<1:1.000.000	Provincia fisiográfica	Elevación, geología e hidrografía
Nacional E1:250.000-100.000	Paisaje Geomorfológico	Pendiente, elevación, forma topográfica, patrón de drenaje
Regional E 1:100.000-50.000	Formas de relieve	Pendiente, forma de la pendiente
Local-Municipal E 1:50.000-20.000	Posiciones geomorfológicas	Pendiente del terreno, amplitud
Predial E> 1:20.000	Formas del terreno	Pendiente, características de suelo y drenaje

Fuente: Zinck, 1986.

III.2.2.2 CARACTERIZACION Y DESCRIPCION DE LOS SUELOS

En cada una de las parcelas de observación se realizó un barreno en el punto central, a través del mismo se describió la morfología de los suelos considerando la secuencia de horizontes, las condiciones de oxidación reducción, las cuales fueron codificadas de la manera presentada en la tabla 3, y la profundidad efectiva expresada en hasta 100 cm o la presencia de una proporción de fragmentos gruesos mayor al 50% o de horizontes con saturación hídrica (Delgado, 1995).

La secuencia de horizonte fue seleccionada con base a los trabajos previos de caracterización de suelos para el área de la Machiques-Colón realizados por Villalobos, (1990) y Noguera *et al.* (1994), según los cuales la presencia del horizonte Bt Argílico es muy importante para los suelos del área, así como el truncamiento por erosión que ha llevado a la pérdida de los horizontes Ap y E. Este fue identificado a través de la presencia de arcilla iluviada en forma de películas y mediante el incremento de la proporción de la misma con la profundidad.

La identificación del horizonte E a nivel de chequeo de campo, fue realizada según los criterios señalados por Phillips *et al.* (2007), a partir de los colores en unidades Munsell y la textura. El horizonte E debe tener valor y pureza más claros que el horizonte suprayacente, con una textura más gruesa. Las características de oxido reducción se determinaron según los criterios de estos mismos autores a través de la presencia de cromas o purezas de color bajas, menores de 3 en unidades Munsell.

Tabla 2. Codificación de las características morfológicas de suelo.

Características Morfológica	Codificación	Descripción
Secuencia de Horizontes	1	Bt/C
	2	Ap/E/Bt1/Bt2
	3	Ap/ Bt1/Bt2
Condiciones de Oxido reducción	0	Sin evidencias dentro del solum
	1	Evidencias entre 50-100 cm
	2	Evidencias entre 0-50 cm

En 60 de los sitios de observación fueron recolectadas muestras para determinaciones de laboratorio de los 25 cm superficiales del suelo, constituidas por cuatro submuestras de la parcela. Este procedimiento sigue el planteamiento realizado por Zueng *et al.* (1997), según el cual el análisis de suelo superficial resulta suficiente para el establecimiento de correlaciones significativas entre suelos y paisajes. Este enfoque resulta práctico para la realidad venezolana por ser de bajos costos, permite evaluar el impacto de la actividad humana y constituye la práctica de diagnóstico de mayor aceptación entre los productores.

III.2.2.3 SELECCIÓN DE LOS SITIOS PARA LA CARACTERIZACION DE PERFILES.

Tomando como base la separación de unidades del paisaje según posición geomorfológica y posición a lo largo de la pendiente, y con el apoyo de la morfología de los perfiles determinada en los chequeos de campo, los modelos digitales de elevación y las pruebas estadísticas por posición dentro del paisaje; se seleccionó un

perfil de suelo representativo para cada una de las posiciones en el sentido de la pendiente.

Los mismos fueron excavados hasta los 2 m y caracterizados siguiendo los procedimientos establecidos en la guía para descripción de perfiles de la FAO (2006). Adicionalmente, fueron tomados en detalle imágenes de la morfología de cada edafón, a los fines de explicar debidamente su edafogénesis.

III.2.2.4 CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y USO DE LA TIERRA.

Para este fin, se aplicaron los criterios propuestos por ISRIC (2005), modificados parcialmente para ajustarlos a la realidad agrícola venezolana y coincidir en lo posible con las clasificaciones empleadas localmente. La tabla 4 presenta los criterios para cobertura vegetal según altura o porte y densidad de cobertura del terreno. La tabla 5 presenta de manera resumida las formas de ocupación territorial de mayor relevancia a nivel regional.

En cada parcela de observación en el sentido de la pendiente se identificaron los a nivel de familia Botánica y especie componentes de la vegetación; según un criterio de prioridad o dominancia por el porte de los individuos: árboles, arbustos, rastreras y gramíneas, anotando el número de individuos en cada sitio, hasta un máximo de 10 que un número mayor a este comparten el área de observación de 200 m².

Con esta información se conformó una matriz para realizar un análisis de frecuencia que permitiera estimar el grado de asociación entre las posiciones del terreno y los componentes de la vegetación identificados de manera similar a lo sugerido por Zueng *et al.* (1997). Este esfuerzo más que para analizar la relación vegetación-paisaje-suelo, fue dirigido a la identificación de especies locales con posibilidades de ser empleadas como plantas pioneras y sucesoras, para los planes de revegetación de la zona, y a la selección de plantas indicadoras de condiciones locales de suelo llamadas indicadore de vegetación (IV).

Tabla 3. Cobertura vegetal según composición, altura y densidad de cobertura

Símbolo	Designación	Componentes
Bad (1)	Bosques altos densos	<ul style="list-style-type: none"> - Vegetación siempre verde. - Coníferas. - Vegetación semidecídua. - Vegetación decidua - Vegetación xeromórfica.
Bar (2)	Bosques altos ralos	<ul style="list-style-type: none"> - Vegetación siempre verde. - Coníferas. - Vegetación semidecídua. - Vegetación decidua - Vegetación xeromórfica.
M	Matorrales	<ul style="list-style-type: none"> - Matorrales perennifolios. - Matorrales semidecíduos. - Matorrales deciduos. - Matorrales xeromórficos.
Ar	Arbustales	<ul style="list-style-type: none"> - Matorrales perennifolios. - Matorrales semidecíduos. - Matorrales deciduos. - Matorrales xeromórficos.
H	Herbazales	<ul style="list-style-type: none"> - Altos. - Medios. - Bajos. - Forrajes.

1 cobertura continua de árboles con las copas entrecruzadas, con gran diversidad de especies en varios niveles. 2. cobertura continuas de árboles con copas no entrecruzadas y presencia de sotobosque.
Fuente: ISRIC (2005) con modificaciones propias.

Dentro del área de cada parcela, se recolectó la totalidad de los residuos de la vegetación, al final de la estación con menor precipitación, de un área de un metro cuadrado. Esto con el fin de determinar el peso seco, y correlacionarlo con la posición dentro del paisaje y las variables edáficas tal como fue propuesto por Boettcher y Kalisz (1990).

Tabla 4 Usos de la tierra de relevancia para el área de estudio

Código	Designación	Componente
--------	-------------	------------

A _c	Agricultura Cultivos anuales	A _c -1 Cultivos anuales mecanizados de secano.
		A _c -2 Cultivos anuales mecanizados bajo riego.
		A _c -3 Cultivos en barbecho.
		A _c -4 Arroz bajo inundación.
		A _c -5 Cultivos hortícolas.
A _p	Agricultura Cultivos perennes	A _{p1} Cultivos perennes bajo secano.
		A _{p2} Cultivos perennes bajo riego.
C _m	Cultivos mixtos	C _{m1} Agroforestería.
		C _{m2} Agropastoriles.
		C _{m3} Conucos.
P	Pastoreo	P ₁ Pastoreo extensivo.
		P ₂ Pastoreo semi intensivo (Leche-Carne).
G	Granjas intensivas	P ₃ Pastoreo intensivo. (Leche-Carne)
		G ₁ Granjas avícolas.
F	Forestal	G ₂ Granjas porcinas.
		F ₁ Bosques naturales con aclareo selectivo.
		F ₂ Bosques naturales con aclareo parcial.
P	Protección de la naturaleza	F ₃ Plantaciones forestales.
		P ₁ Reserva forestal faunística.
		P ₂ Parques nacionales.
		P ₃ Reserva de fauna silvestre.
		P ₄ Protección de embalses.
U _I	Urbana industrial	U _{I1} Residencial.
		U _{I2} Industrial.
		U _{I3} Recreacional.
		U _{I3} Rellenos-Estaciones para desechos sólidos.
		U _{I4} Otros usos.

Fuente FAO 2006, con modificaciones propias.

III.2.3 PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO Y GABINETE

III.2.3.1 TRATAMIENTOS PARA LAS MUESTRAS DE SUELO Y RESIDUOS VEGETALES.

Todas las muestras de suelo, procedentes de los chequeos de campo y calicatas fueron secadas al aire, tamizadas a 2 mm, determinando la proporción de esqueleto grueso, en caso de ser necesario; y sometidas a determinaciones por triplicado expresando los resultados con base a peso de suelo seco.

Los análisis fueron realizados en los laboratorios del departamento de Ingeniería, Suelos y Aguas, de La Universidad del Zulia (LUZ), Venezuela. Y se consideraron las siguientes variables edáficas:

a) QUÍMICAS:

- pH (en suelo: agua 1:2,5 p/v por el método potenciométrico (Thomas, 1996).
- Conductividad Eléctrica en suelo: agua 1:2,5 p/v (Rhoades, 1996).
- Bases Cambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+}) por el método de Acetato de Amonio pH 7,0 (Sumner y Miller, 1996).
- Carbono orgánico por incineración (Nelson y Sommers, 1996).
- Fósforo disponible (P) (ISRIC, 1993).
- Capacidad de intercambio catiónico (Sumer y Miller., 1996).

b) FÍSICAS:

- Caracterización granulométrica de la fracción tierra fina y determinación del esqueleto grueso (Day, 1965).
- Conductividad hidráulica, infiltración básica, densidad aparente y porosidad según Pla (1983).
- Retención de humedad por plato y olla de presión (Richards, 1965).
- Resistencia a la penetración con un penetrómetro (ASAE, 1993).

Las muestras de los residuos de vegetación, fueron secadas en una estufa a 60 centígrados, hasta peso constante, enfriadas a temperatura ambiente y luego pesadas para determinación del peso seco.

III.2.3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los datos recolectados para las observaciones de suelo y residuos vegetales, fueron analizados mediante el paquete estadístico SAS (2009) a través de los siguientes procedimientos:

- a. Se verificó la condición de normalidad de las variables dependientes y se realizó la transformación de aquellos que no presentaron tal condición, aplicando logaritmo de la variable.

- b. La obtención de estadísticas descriptivas para las variables consideradas por paisaje y posición.
- c. Análisis de correlación lineal simple de Pearson entre las variables dependientes.
- d. Análisis de varianza mediante el procedimiento GML (modelo lineal general) para las variables dependientes por posición dentro del paisaje aplicando el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + E_{ij};$$

donde Y_{ij} el valor de una variable en la i-esima posición de paisaje y j-esima observación, μ es la media general de la población, P_i es el efecto de la i-esima posición del paisaje y E_{ij} es el error asociado a i-esima posición y j-esima observación

Para las variables en las que se encontraron diferencias significativas se realizó una prueba de separación de medias por rangos múltiples de Tukey.

- e. Análisis de frecuencias y prueba de Chi cuadrado para las características morfológicas del suelo secuencia de horizontes y condiciones de oxido reducción.
- f. Análisis de frecuencias y prueba de Chi cuadrado para analizar la vegetación por posición y paisaje.
- g. Análisis de componentes principales para las variables edáficas asociado con la posición dentro del paisaje.

III.2.3.3 DERIVACIÓN DEL MODELO EDAFOGEOLOGICO

Los rasgos geomorfológicos observados en las fotografías aéreas, la imagen de satélite, el modelo digital de elevación y los recorridos de campo, se emplearon para generar un modelo geomorfológico idealizado a nivel gráfico, con base a atributos como: paisaje geomorfológico, posición geomorfológica, elevación, pendiente, forma del terreno y procesos morfodinámicos.

Luego siguiendo los procedimientos descritos por De Bruin *et al.* (1999), se superpusieron la información del terreno con la cobertura de suelos; solo a nivel gráfico debido a limitaciones de procesamiento digital. El modelo así formado incluye además de los rasgos del terreno, contiene la información del suelo relevante para uso y manejo a nivel de fincas.

III.2.3.4 VALORACIÓN DE LOS SUELOS EN FUNCION DEL PAISAJE

Los resultados de la caracterización morfológica, física y química de los edafones representativos para cada elemento del paisaje fueron empleados para la interpretación de los procesos edafogénicos, la condición de fertilidad y la evaluación del grado de limitación para labores agrícolas a nivel de cada posición del terreno.

Para este último propósito se aplicó el modelo multifactorial multiplicativo discreto propuesto por Riquier *et al.* (1970), según la ecuación:

$$IP = H.D.P.V.S.O.M$$

donde: **IP**= índice de productividad del suelo, **H**= régimen de la humedad del suelo, **D**= drenaje, **P**= profundidad efectiva del suelo, **T**= textura y estructura, **V**= saturación de la base de intercambio de cationes y acidez, **S**= concentración de sales solubles, **O**= materia orgánica, **A**= naturaleza de la arcilla, **M**= reserva de minerales meteorizables.

Los factores de suelo y clima caracterizados para cada posición, fueron comparados con los valores tabulados para el modelo, con el fin de clasificar para cada caso el nivel de productividad actual esperada (Viglizzo *et al.*, 2004; Lateralra *et al.*,

2011), según la escala presentada en la tabla 6. Este modelo considera que el suelo ideal sin limitaciones tendría un valor de IP=100, y IP< 20 estarían los suelos no deseables para ocupación agrícola. El anexo 2 presenta los valores tabulados empleados como base para la valoración.

Tabla 5. Clasificación del nivel de productividad de los suelos según el IP

clase	Nivel de productividad	IP
1	Muy alta productividad	65-100
2	Alta productividad	35-65
3	Media productividad	20-35
4	Baja productividad	8-20
5	Muy baja productividad	0-8

Fuente Riquier et al. (1970)

III.2.3.4 FORMULACION DE PROPUESTAS DE MANEJO

La valoración de los suelos para cada posición del paisaje, permite identificar los factores que limitan la productividad y la calidad del suelo. A partir de ellas se realizó un análisis de escenarios para mejorar el IP, aplicando transformaciones agronómicas a las restricciones identificadas. El modelo de productividad de Riquier, propone una serie de correcciones a las limitaciones, detalladas en la tabla 7.

El conocimiento de las restricciones, permitió establecer las prácticas de manejo requeridas y el grado de intervención necesario, para lograr un nivel de productividad potencial. Este enfoque fue acompañado con la formulación de recomendaciones dirigidas a mejorar los tipos de utilización de la tierra actuales, con algunos cambios tecnológicos, formas de producción alternativas basadas en la agroforestería y cambios del tipo de ocupación, para dar cabida a la creación de bosques protectores por revegetación por sucesión, en áreas sensibles a la erosión.

Tabla 6. Transformaciones agronómicas sugeridas para mejorar la productividad de los suelos

Factor	Problema Agronómico o Agrícola	Transformación o Manejo
H	Sequía permanente o estacional	Riego suplementario o complementario

D	Drenaje restringido interno o externo	Saneamiento de tierras agrícolas
P	Baja profundidad efectiva por compactación	Uso de descompactadores
T	Texturas muy gruesas, muy finas o pedregosidad superficial	Enmiendas orgánicas, labranza y/o Despedregado
N	Deficiencias nutrimentales	Fertilización
S	Salinidad sodicidad	Lavado de sales enyesado
O	Muy baja materia orgánica	Enmienda orgánicas abonos verdes
V	Acidez	Encalado
R	Pendiente	Cultivos en franjas y curvas de nivel, construcción de bancales, terrazas

Fuente Gascó et al. (2007)

Tal como ha sido señalado por Bárcenas (2010), los suelos derivados de la formación geológica La Villa, se caracterizan por presentar problemas de acidez y toxicidad por aluminio. Por tal razón, se consideró determinar los requerimientos de enmienda orgánica o caliza, siguiendo el procedimiento de curvas de amortiguación con hidróxido de calcio Ca(OH)_2 de normalidad 0,03, necesaria para un pH destino (López, 1982)

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1. CONFORMACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

A partir de la imagen de satélite, se generó un modelo digital de elevación (MDE) que permite ilustrar los resultados de la fotointerpretación de de las vistas aéreas. En el área estudiada se identificaron cuatro (4) formas del terreno, denominadas según su elevación por los siguientes nombre locales: 1) topes de colina o loma para las elevaciones entre 85-110 msnm, 2) mesas entre 65-75 msnm, 3) vertientes entre 60-85 msnm y 4) fondo de valle o vegas para las posiciones con elevaciones inferiores a 60 msnm.

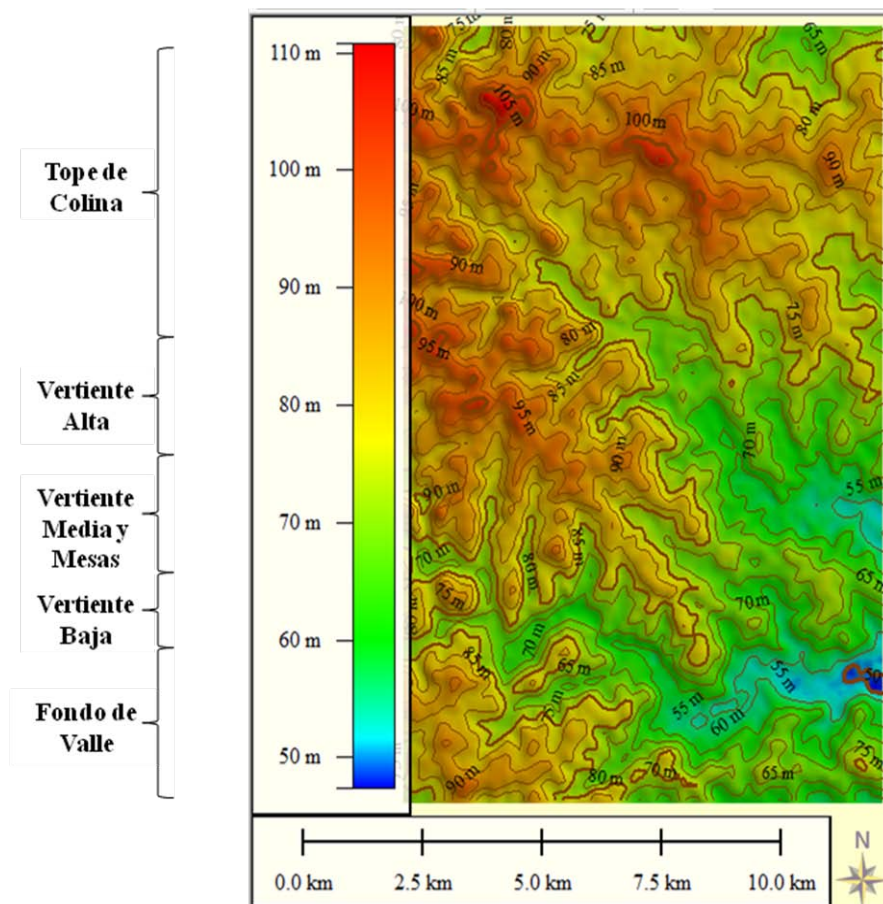


Figura 3. Modelo digital de elevación para el área en estudio. Curvas de nivel a intervalos de 5m.

Según el esquema geomorfológico de Zinck (1986), esta sucesión de posiciones en el sentido de la pendiente corresponden a dos tipos de paisajes asociados, a saber: el

colinar conformado en este caso por los relieves con elevación superior a los 60 m y el valle constituido en el área por las áreas más bajas y ubicados entre dos posiciones más altas, del paisaje colinar, por lo cual se le denomina como valle intracolinar.

La desagregación jerárquica del paisaje colinar, es ilustrada en la figura 9, a través del modelo digital de elevación con vista tridimensional. En el mismo, se detallan las unidades de relieves que lo conforman con base a la geometría y topología de las formas terrestres (De Bruin *et al.*, 2000). Las colinas, con pendientes divergentes en todo sentido y bases redondeadas, las lomas con pendientes divergentes predominantemente en dos sentidos y bases alargadas; las mesas conservadas, áreas planas o suavemente onduladas y vertientes de mesas.

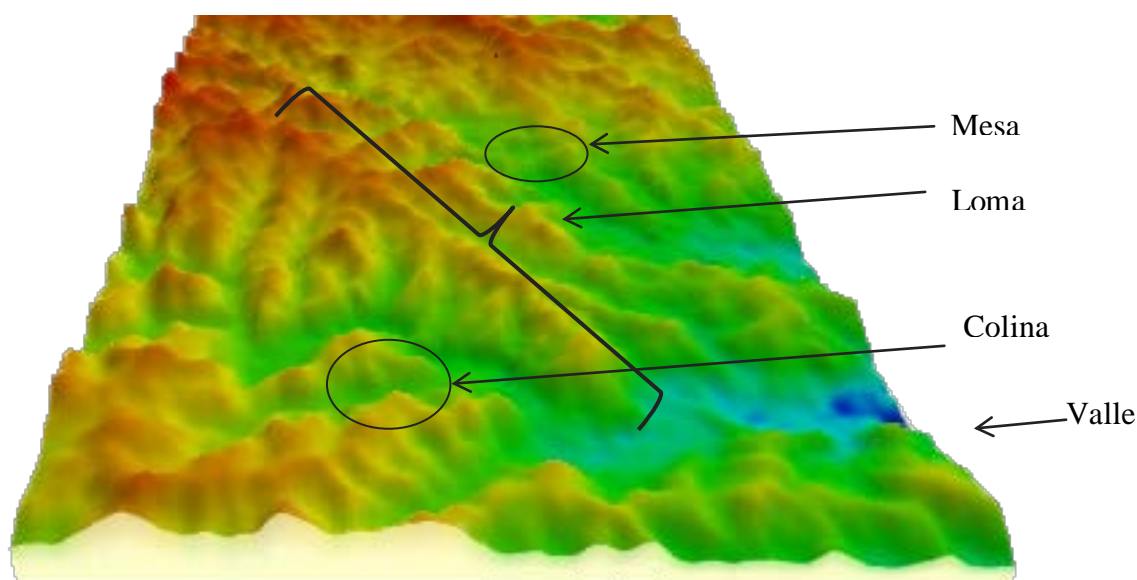


Figura 4. Modelo digital de elevación con vista tridimensional. Ilustrando los tipos de relieve.

Las unidades de relieve a su vez fueron subdivididas en las siguientes posiciones geomorfológicas: 1) topos de colina-loma, caracterizada por sus formas cóncavo-convexas y pendientes internas entre 5-8%, 2) mesas conservadas con formas planas o suavemente onduladas y pendientes internas entre 1-3%; y vertientes de mesas con forma entre plano inclinado y ligeramente convexa, pendientes entre 2-8%. Las vertientes de mesas a su vez se subdividieron localmente por su elevación y posición topográfica en el sentido de la pendiente en vertientes altas, medias y bajas, más por un criterio práctico de interés local, para los usuarios y para la planificación de labores de

uso y manejo. Un aspecto resaltante en el terreno para todas las posiciones geomorfológicas de este paisaje es la activación en menor o mayor grado de procesos erosivos manifiestos por los microrelieves de surcos y cárcavas.

El paisaje de valle está conformado por los terrenos ubicados entre las colinas y lomas, correspondientes con un relieve denominado fondo de valle y con la posición geomorfológica de valle intracolinar. La forma del terreno es marcadamente cóncava y las pendientes internas varían entre 1-2%. A nivel del terreno una característica resaltante de este paisaje es el microrelieve de tatucos, caracterizado por la aparición de montículos con alturas entre 0,30- 0,90 m, cuyo origen se explica por la actividad de meso organismos, específicamente lombrices y comejenes, en posiciones del terreno mal drenadas por ser el destino de las aguas de escurrimiento.

Los segmentos A-B y C-D ilustrados en la figura 10 definen la toposecuencia en el sentido de la máxima pendiente, empleada para la caracterización biofísica del área. Estos segmentos, georeferenciados en el campo, permitieron generar los perfiles longitudinales presentados en la misma figura, que ilustran las variaciones del relieve en el sentido de la pendiente. Estos fueron empleados como base para la generación de un modelo idealizado de la composición geomorfológica del área, útil como herramienta de ilustración y diagnóstico rápido (Hirmas *et al.*, 2011; McCracken *et al.*, 1988). La formulación de dicho modelo se apoyó con los recorridos de campo a través de transeptos como estrategia de trabajo para la colección de los atributos locales como pendientes, elevación y forma del terreno (Gobín *et al.*, 2000). La representación esquemática de la geomorfología es ilustrada en la figura 11.

En la misma se detallan los niveles de desagregación para cada paisaje geomorfológico, en relieves, posiciones geomorfológicas y formas del terreno, los cuales se acompañan con los atributos locales de mayor relevancia: elevación sobre nivel del mar, pendientes-formas del terreno y microrelieves. Las imágenes 1-4 dan una visión general y en detalle de las formas terrestres del área analizada.

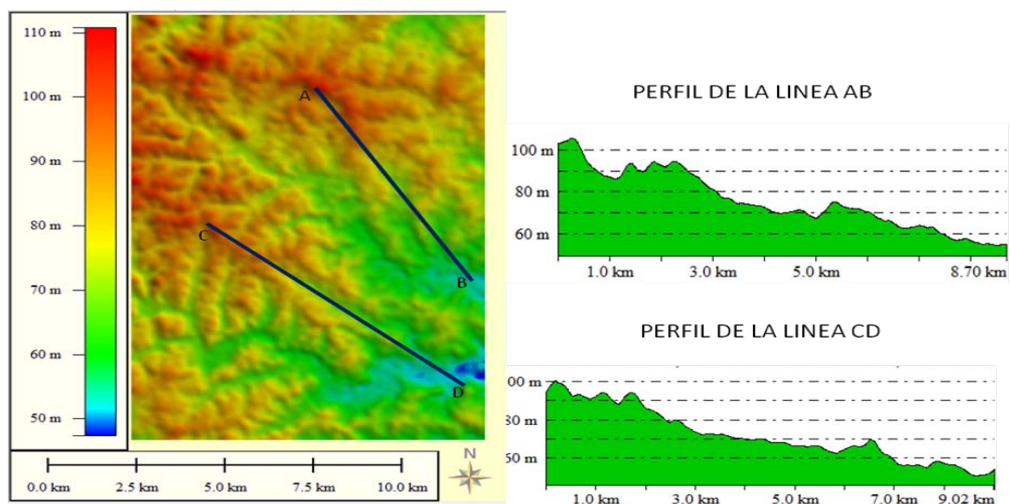


Figura 5. Perfiles longitudinales del terreno en el sentido de la máxima pendiente.

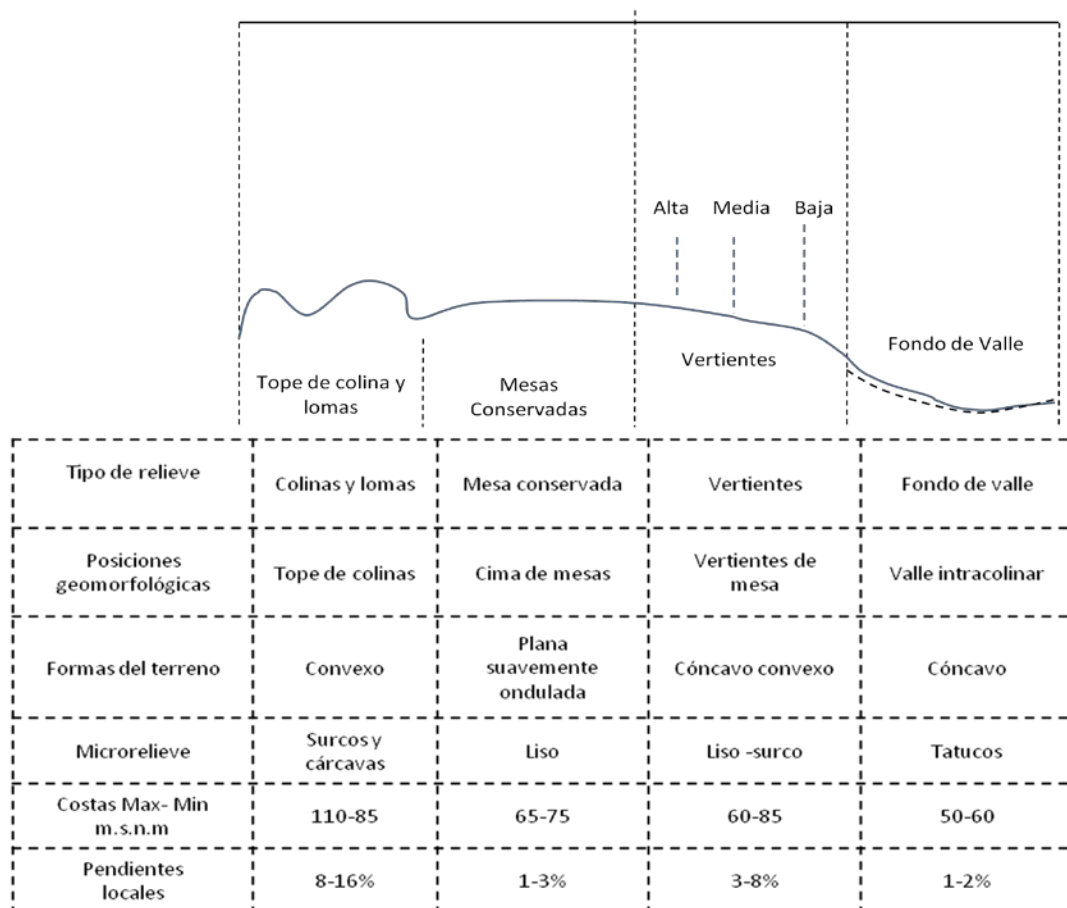


Figura 6. Modelo Geomorfológico idealizado para la cuenca “Cañada La Gorda, generado de los recorridos de campo y los perfiles longitudinales.”.



Imagen 1 Vista general del paisaje en el área de estudio, obsérvese la sucesión de relieves en el sentido de la pendiente.



Imagen 2 Vista en detalle del paisaje colinar y algunas de sus posiciones geomorfológicas.

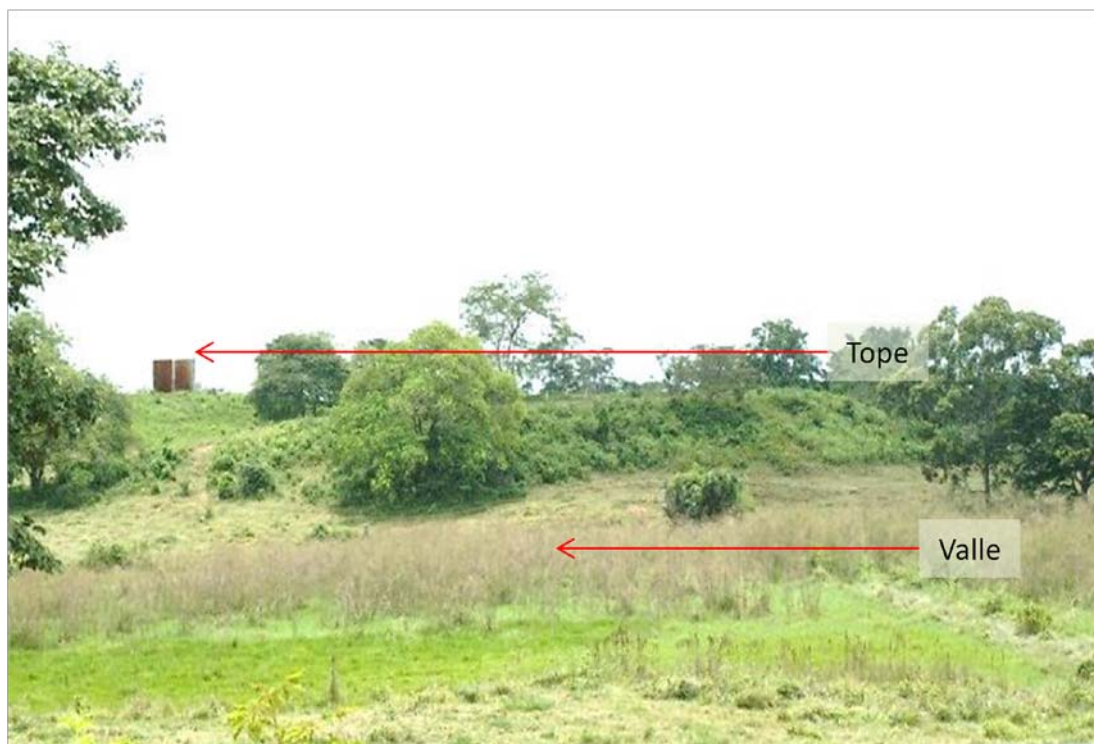


Imagen 3. Vista en detalle del valle.



Imagen 4. Vista en detalle de la mesa conservada.

Dentro de cada posición geomorfológica y para el conjunto de paisajes, se describieron y analizaron mediante pruebas de frecuencia y Chi cuadrado, las formas del terreno y las pendientes locales, aplicando los criterios de abundancia y proporcionalidad esbozados por Ibañez *et al.* (1995). Según los resultados la pendiente y la forma del terreno tienen una asociación altamente significativa ($p < 0.0001$) con la posición geomorfológica. Tal relación se muestra en la tabla 8, según la cual para el tope de colina, el 60% de las observaciones presentan formas fuertemente onduladas con pendientes mayores del 8%, las vertientes altas y medias en el 80% de los casos, mostraron pendientes locales entre el 3-8% con formas suavemente onduladas; las vertientes bajas en el 80% de las observaciones y las mesetas en el 93% presentaron pendientes locales entre 0-3% con formas planas a suavemente inclinadas y el fondo de valle en el 100% de los casos presentó forma cóncava y deprimida con pendiente entre 1-2%.

Para el conjunto de formas terrestres conformado por el paisaje colinar y el valle, el 16,97% de las observaciones presentaron forma cóncava, el 33,33% planas, el 35,56% suavemente onduladas y el 14,44% fuertemente onduladas. Lo que significa, para el 50% del área representada por los topos de colina y las vertientes altas y medias, riesgos de activación de procesos erosivos, asociados con la pendiente del terreno.

El estudio geomorfológico de la región del Lago de Maracaibo (COPLANARH, 1975) a escala 1:250.000, indica para la zona, una conformación geomorfológica a base de colinas altas con cimas agudas y redondeadas, como unidad de formas terrestres o complejos de formas de terreno (Mende *et al.*, 2007). En razón de su escala, dicho estudio no detalla la existencia dentro de los topos de colina de pocas áreas planas con tendencia tabular, distinguibles claramente en los transectos de campo y difusamente en las fotografías e imagen de satélite (tabla 8). Estas parecieran ser relictos de la condición del relieve original. Formas terrestres con similar aspecto han sido reportadas por Brown *et al.* (2004), en el sitio donde se generó el modelo de la catena de suelos, y su preservación ha sido atribuida a su constitución a base de materiales de coraza ferrugínea dismantelada o intacta. Ese planteamiento es coincidente con la alta proporción de fragmentos de roca de hierro encontrados en este caso particular, como

será discutido posteriormente. Adosados a las elevaciones del terreno, se encuentran áreas planas y planos inclinados correspondientes a los relieves de mesas y sus vertientes, descritos en el modelo idealizado de la figura 11.

Tabla 7. Asociación entre forma de terreno y pendiente por posición dentro del paisaje.

Posición Geomorfológica	Nº	Pendiente y Forma del terreno								Total%
		Cóncavo 1%	%	Plano 0-3%	%	Suavemente ondulado 3-8%	%	Fuertemente ondulado 8-16%	%	
Tope de colina	15	0	0	1	6,67	5	33,33	9	60	100
Vertiente alta	15	0	0	0	0	12	80	3	20	100
Vertiente media	15	0	0	4	26,67	10	66,67	1	6,67	100
Vertiente baja	15	0	0	11	73,33	4	26,67	0	0	100
Mesa	15	0	0	14	93,33	1	6,67	0	0	100
Fondo de valle	15	15	100	0	0	0	0	0	0	100
Total %	90	15	16,97	30	33,33	32	35,56	13	14,44	100

Chi-cuadrado 162.4250 p <.0001

Las mesas pudieran ser una condición de relieve anterior, conservadas por el tipo de materiales y las vertientes una situación de evolución de las formas terrestres intermedia entre aquellas y los topes de colina.

La litología del área esta fundamentalmente constituida por lutitas, arcilitas y areniscas interestratificadas correspondientes con la formación La Villa, que ocurren acompañadas con facies de esta formación, con predominancia de areniscas (Ministerio de minas e hidrocarburos, 1956). La influencia estos materiales permiten explicar las formas terrestres observadas en el perfil longitudinal representado en las figuras 10 y 11. Así, los topes de colina representan los materiales de suelo de mayor resistencia a la erosión por el contenido de arcilla y los fragmentos gruesos, mientras que las posiciones intermedias entre el tope y el valle representados por las mesas conservadas y las vertientes de mesa, presentan materiales predominantemente arenosos los cuales se han depositado a manera de coluvión desde el tope en el sentido de la pendiente, y redistribuidos por el flujo superficial del escurrimiento en el sentido de la pendiente. El valle ubicado en la posición más baja, presenta entonces los materiales más finos en la toposecuencia, coincidente con el modelo catenario de erosión (Moore *et al.*, 1993).

Los recorridos en el sentido del flujo del escurrimiento superficial de la toposecuencia, siguiendo los perfiles longitudinales desde las posiciones de topes de colinas hasta el fondo de valle, permitió detectar un proceso de depositación de los materiales predominantemente coluvial (dominado por gravedad) en los tope de colina, con materiales poco seleccionados y acompañados por una alta proporción de elementos gruesos. En los relieves intermedios representados por la mesa y vertientes el proceso de selección de materiales por arrastre a lo largo de la pendiente es controlado por la fuerza de gravedad junto al escurrimiento superficial, por lo cual se afirma que es coluvio-aluvial.

El paisaje de valle recibe mayormente materiales seleccionados por el flujo superficial del agua, por lo cual su origen marcadamente aluvial, aunque por evidencias de campo en algunos sitios de observación ha recibido influencia de materiales

depositado en masa, sin selección previa, por lo cual se afirma que sus materiales son de origen aluvio-coluvial.

Las actividades humanas han ejercido su influencia en la evolución de las formas terrestres, a través de la activación de procesos de morfogénesis en el paisaje colinar, principalmente en las posiciones de tope de colinas-lomas y vertientes altas y medias, y en menor grado en las mesas conservadas. Estos efectos asociados a la modificación de la vegetación y la predisposición por las pendientes del terreno, fueron evidenciados por los microrelieves de surcos y cárcavas, causantes del truncamiento del horizonte superficial y afloramiento de los horizontes B y C. Las evidencias visuales de estos cambios en el balance agradación-degradación se demuestran las imágenes 5 y 6, que ilustran las etapas finales del fenómeno, las etapas previas fueron observadas a través suelos descubiertos, y de cambios en el patrón de cobertura vegetal a favor de especies arbustivas de poco valor forrajero en las áreas con degradación en etapa inicial (Weixelman *et al.*, 1997).



a) Cárcavas incipientes en la vertientes altas y media



b) Cóncavas activas en el tope de colina y la vertiente alta

Imagen 5. Evidencias de activación de procesos erosivos en el paisaje colinar



a) Erosión activa en la posición de mesa



b) Detalle de surcos profundos en la vertiente media

Imagen 6. Evidencias de activación de procesos morfogenéticos en el paisaje colinar

IV.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS EN EL SENTIDO DE LA TOPOSECUENCIA. DERIVACIÓN DEL MODELO EDAFOGEO MORFOLOGICO.

IV.2.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS SUELOS

IV.2.1.1 CONDICIONES OXIDO-REDUCCIÓN

El análisis de asociación a través de la prueba de Chi cuadrado de Mantle-Haenszel, demostró que la presencia de condiciones de oxido-reducción en el perfil de suelo, está asociada en forma altamente significativamente ($p < 0,001$) con la posición en el paisaje. Según se muestra en la tabla 9, tal condición ocurre en la posición de vertiente baja a profundidades mayores de 50 cm y en el fondo de valle desde la superficie del suelo.

Tabla 8. Asociación entre las condiciones de oxido-reducción y la posición dentro de paisaje.

POSICIÓN GEOMORFOLÓGICA	N°	CONDICIONES DE OXIDO-REDUCCIÓN						Total
		0	%	1	%	2	%	
Tope de Colina	15	15	100	0	0	0	0	100
Vertiente Alta	15	15	100	0	0	0	0	100
Vertiente media	15	15	100	0	0	0	0	100
Vertiente baja	15	0	0	7	46,67	8	53,33	100
Mesa	15	13	86,67	0	0	2	13,33	100
Fondo de valle	15	0	0	0	0	15	100	100
Total	90	58	64,44	7	7,78	25	27,78	100

0 Sin evidencias dentro del solum, 1: Evidencias entre 50-100 cm, 2: Evidencias entre 0-50 cm.

La ocurrencia de características de oxido-reducción según los resultados, demuestran un control de las formas terrestres a través de la posición dentro del paisaje en la evolución de la morfología del suelo manifestada a través colores o moteados con cromas inferiores o iguales a 3 en unidades Munsell, coincidiendo con lo señalado por Phillips y Marion (2007), en cuanto a que en condiciones de igualdad de clima y material parental, el relieve puede controlar la evolución del suelo. Este efecto es atribuible al control que el mismo ejerce sobre la condición hidrológica del suelo a lo largo de la catena. Es decir, las posiciones más bajas reciben los aportes descendentes

de las posiciones aguas arriba influenciando la condición de humedad y drenaje, tal como lo han señalado Seibert *et al.*, (2007) y Western *et al.*, (2004). Este caso particular, la influencia del relieve se manifiesta en condiciones de suelos excesivamente drenados y bien drenados en los topes de colina y loma, mesas y vertientes alta y media, pobremente drenados, en las vertientes bajas y muy pobremente drenados, con condiciones de régimen de humedad Peraquic, acompañados de laminas de agua superficiales durante la mayor parte del año en los valles.

IV.2.1.2. SECUENCIA DE HORIZONTES MAESTROS

Las secuencias de horizontes seleccionadas para el área de estudio mostraron una asociación positiva con la posición dentro del paisaje, comprobado a través de un análisis de asociación y la prueba de Chi cuadrado que resultó ser altamente significativa ($p < 0,001$).

Según la tabla 10, los topes de colina presentaron mayormente la secuencia Ap/Bt en el 60% de las observaciones y Bt1/Bt2/C en el 40% de los registros para esta posición. Es necesario destacar que los Ap observados se mostraron delgados e incipientes y con características que tienden a clasificarlos como un horizonte AB, debido a la ocurrencia en ellos de evidencias de procesos edafogenéticos como argilanes y concreciones de hierro, que pudieran estar asociadas a plintita en el pasado.

Tabla 9. Asociación entre la secuencia de horizontes y la posición dentro del paisaje.

POSICIÓN GEOMORFOLÓGICA	N°	SECUENCIA DE HORIZONTE						Total
		1	%	2	%	3	%	
Tope de colina	15	0	0	9	60	6	40	100
Vertiente alta	15	12	80	1	6,67	2	13,33	100
Vertiente media	15	13	86,67	2	13,33	0	0	100
Vertiente baja	15	12	80	0	0	3	20	100
Mesa	15	14	93,93	0	0	1	6,67	100
Fondo de valle	15	0	0	0	0	15	100	100
Total	90	51	56,67	12	13,33	27	30	100

1: Bt/C, 2: Ap/E/Bt1/Bt2, 3: Ap/ Bt1/Bt2

Las posiciones de mesas y vertientes presentaron en proporciones mayores al 80% de la secuencia A/E/Bt1, evidencia de las ocurrencias de los procesos edafogenéticos de eluviación e iluviación, que han llevado a la formación de un horizonte argílico en las posiciones más estables del terreno. El valle, en el 100% de las observaciones mostró la secuencia A/Bt determinada por el proceso de argilización acompañado con condiciones de gleización fuerte. Estas secuencias guardan relación con las condiciones locales de los factores de formación, especialmente relieve y material parental, según lo planteado por Dicikerman *et al.* (1988), en una catena con condiciones similares de clima en África occidental. En el cual explica la formación de horizontes argílicos (B_t) en el proceso de evolución de Ultisoles en condiciones de buen drenaje (Ustults) y mal drenaje (Aquults), de gran similitud con esta zona.

IV.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS. PROFUNDIDAD EFECTIVA Y GRANULOMETRIA.

El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre las medias para todas las variables físicas consideradas, asociadas a la posición de los suelos dentro del paisaje, tal como se muestra en la tabla 11.

Tabla 10. Análisis de varianza para las variables físicas por posición dentro del paisaje.

VARIABLE	SC	SCE	CM	CME	F	Pr>F
Prof. Efectiva	64,26	15,43	12,85	0,18	69,96	<0,0001**
Esqueleto grueso	7,18	4,27	1,56	0,008	19,75	<0,0001**
Arena muy gruesa	1,01	0,89	0,20	0,017	12,19	<0,0001**
Arena gruesa	857,34	1538,88	171,47	28,50	6,02	0,0002**
Arena media	1575,46	1933,58	315,09	35,81	8,80	<0,0001**
Arena Fina	686,08	994,15	137,22	18,41	7,45	<0,0001**
Arena muy fina	212,69	634,82	42,54	11,76	3,62	0,0068**
Arena Total	6851,25	5855,01	1370,25	108,43	12,64	<0,0001**
Limo	1,49	2,76	0,30	0,05	5,85	0,0002**
Arcilla	2,73	4,39	0,55	0,081	6,71	<0,0001**

Los grados de libertad para posición topográfica son 5; SC: suma de Cuadrados, SCE: suma de Cuadrados del error, CM: cuadrados medios, ** altamente significativo 1%, *significativo 5%, NS no significativo.

Según los resultados de la prueba de separación de medias mediante rangos múltiples de Tukey que se presenta en la tabla 12, la profundidad efectiva, entendida

como aquella que puede ser explorada por las raíces, fue significativamente más baja en las posiciones tope de colina con un promedio de 16,53 cm y fondo de valle con una media de 15,20 cm, en el primer caso, explicable por la abundancia de fragmentos gruesos y en el segundo por la saturación hídrica permanente. El resto de las posiciones presentaron profundidades efectivas que oscilaron entre 86,20 y 96,3 cm sin diferencias estadísticas significativas.

A este respecto es necesario aclarar que los chequeos con barreno demostraron un incremento del espesor del suelo desde las posiciones altas hacia el valle, atribuible a la erosión de materiales inestables del tope de colina- lomas y su acumulación en áreas del paisaje con mayor estabilidad representada por las vertientes bajas y el valle (Clements *et al.*, 2010; Agbenin *et al.*, 1995). Sin embargo, en estos últimos casos la profundidad de enraizamiento aparece limitada por la condición hidrológica del suelo puesta en evidencia por las características de óxido reducción. En las posiciones más altas de topes, vertientes altas y medias, espesor y profundidad efectiva están correlacionados, y los fragmentos gruesos que limitan la penetración del barreno se constituyen igualmente en el obstáculo al desarrollo de las raíces.

La proporción de fragmentos gruesos con diámetro mayor de 2 mm, en los 25 cm superficiales del suelo, fue significativamente mayor ($P < 0,05$) en el tope de colina, con un promedio de 23,90%, mientras que para el resto de las posiciones no encontraron diferencias estadísticas significativas y los valores promedios oscilaron entre 0,95 y 3,75%: Buena parte de las observaciones en los topes de colina y loma, presentaron restricciones para la penetración del barreno, debido a la abundancia de fragmentos de piedras de hierro, con tal abundancia que permitían anticipar familias de suelos esqueléticas, al superar apreciativamente el 35 % en peso (Soil Survey Staff, 2010). La presencia de estos fragmentos en la superficie se redujo hacia las posiciones más bajas, mientras que la profundidad a estratos de suelo con esta característica aumentó en esa dirección. Esta observación hace suponer que los topes de colina correspondan con restos de horizontes con marcado desarrollo edafogenético, expuestos a la superficie por la erosión. Evidencias actuales que apoyan este supuesto son las características

morfológicas ya mencionadas, para lo horizontes superficiales en esa posición, la presencia de películas de arcilla y manchas en los suelos similares a la plintita.

Tabla 11. Valores promedios para las variables edáficas físicas por posición topográfica dentro del paisaje.

VARIABLES	Tope de colina	Vertiente Alta	Vertiente Media	Vertiente Baja	Mesa	Fondo de Valle
Prof. Efectiva (cm)	16,53±3,32B	82,20±6,46A	96,53±1,99A	71,33±4,58A	89,00±6,37A	15,20±1,47B
Esqueleto gruesa (%)	23.90±4.49A	2.43±0.63B	1.53±0.40B	0.95±0.15B	3.75±1.68B	1,22±1,18B
Arena muy gruesa (%)	7.90±1.25A	2.52±0.28B	2.98±0.41B	2.28±0.38B	3.34±0.30B	1,97±0,63B
Arena gruesa(%)	16.61±2.01BA	12.71±0.78BC	17.35±1.07BA	14.76±0.85BAC	19.76±2.72A	7,95±1,78C
Arena media(%)	22.37±2.83A	25.39±1.03A	28.32±0.85A	25.13±1.61A	30.08±2.02A	14,18±2,23B
Arena Fina(%)	14.09±1.20BC	23.54±1.11A	19.16±1.70BAC	19.65±1.25BA	16.45±1.48BC	13,95±1,32C
Arena muy fina (%)	7.98±1.00B	12.60±1.02A	13.35±1.77A	10.90±0.70BA	8.91±0.85BA	10,91±0,80BA
Arena Total (%)	68.94±4.75A	76.75±1.79A	81.14±0.76A	72.64±1.77A	78.53±4.15A	48,96±4,29B
Limo(%)	13.84±1.80BA	11.75±1.42B	8.46±1.00B	11.76±1.10B	9.07±0.94B	21,0±3,07A
Arcilla (%)	17.25±3.25BA	11.55±0.96B	10.45±0.90B	15.60±1.11B	12.40±3.65B	30,0±4,67A

Medias con letras distintas dentro de una fila difieren significativamente al 5% (P<0,005).

Otra evidencia en la se apoya esta hipótesis, es la mayor proporción de arcilla en la fracción de la tierra fina en estas posiciones cuyo origen pareciera ser iluvial o producto de la meteorización de la coraza ferrugínea (Chittleborough, 1992)

Las diferentes subfracciones de arena mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) y tendencias que sugieren el arrastre diferencial en el sentido de la pendiente mostrando variaciones alternas a la disminución e incremento en el sentido de la pendiente atribuible al desplazamiento por acción del agua y la gravedad que apoyan la teoría de formación sedimentaria del contraste textural (Chittleborough, 1992), sin embargo, los resultados en este caso no permiten la visualización de tendencias claras entre las posiciones, que permitan indicar zonas específicas para la acumulación de algunas de la subfracciones. La evidencia clara es el predominio de la arena gruesa y media en las mesas conservadas, que pudieran explicar su estado de conservación al presentar mayores tasas de infiltración y menor erosión (Brown *et al.*, 2004).

El porcentaje de arena total presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,0001$) entre el valle y el resto de las posiciones, al presentar este un valor promedio de 48,96%. Mientras que para el resto de las formas terrestres del paisaje, se observaron valores que variaron entre 68,94% para los topos de colina loma y 81,14% para la vertiente media. En relación con esta variable, se observa una tendencia a la acumulación en esta última posición, con incremento en el sentido de la pendiente. Aunque la misma no sea suficiente como para diferenciarla estadísticamente, esta evidencia apoya la teoría catenaria de diferenciación por erosión, con acumulación de arenas en los reversos y pies de cuevas (Moore *et al.*, 1994). Las tendencias poco definidas, en este caso, pudieran ser atribuidas a la alteración de la diferenciación textural por la actividad humana, a través de la activación de erosión acelerada o a efectos de la actividad biológica sobre el suelo asociadas a termitas y hormigas, con actividad notoriamente alta en esta zona, cuyos efectos en la inversión de patrones texturales a nivel local, debido al mezclado, ha sido reportado por Brown *et al.* (2004) y Nkem *et al.* (2000).

Los porcentajes de limo y la arcilla resultaron ser significativamente mayores ($P < 0,0001$) en el valle con promedio de 21 y 30% respectivamente, con relación a las posiciones de mesas y vertientes, aunque no presentaron diferencias estadísticas con los valores encontrados en los topes de colina y loma. Este resultado parcialmente apoya y contradice el modelo catenario. Le apoya con las tendencias del valle con respecto a la mesas y vertientes, y sugiere el arrastre diferencial de arcilla y limo por el escurrimiento superficial, hacia los valles (Hook, *et al.*, 2000) Le contradicen los valores de arcilla y limo encontrados en las partes altas del paisaje, lo que viene a en apoyo a la teoría de que dichas posiciones son un material expuesto por la erosión y ocupan esos espacios en razón de su mayor resistencia a la erosión.

Una característica resaltante de la granulometría en todas las posiciones geomorfológicas analizadas, es el predominio de las texturas arenosas, sobre todo en las posiciones intermedias, las cuales al combinarse con la pendiente, determinan alta vulnerabilidad a la degradación; debido a la concurrencia de dos factores predisponente con prácticas de manejo inadecuado (Clemens *et al.*, 2010), que explican los fenómenos de deterioro ambiental ilustrados previamente, cuyos efectos modifican a nivel local la conformación geomorfológica y la calidad del suelo.

IV.2.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

El resultado del análisis de varianza practicado a las variables químicas se muestra en la tabla 13. Este detectó diferencias significativas para las variables químicas: Sodio (Na^+), Aluminio (Al^{+3}), carbono orgánico (CO) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) asociadas a la posición ocupada por el suelo dentro del paisaje.

Tabla 12. Análisis de varianza para las variables químicas por posición topográfica dentro del paisaje.

VARIABLE	SC	SCE	CM	CME	F	Pr>F
pH	1,53	3,03	0,31	0,06	5,45	0,0004**
C.E	0,00003	0,0005	0,000006	0,00001	0,62	0,69NS
Ca	0,004	0,024	0,0007	0,0004	1,71	0,15NS
Mg	0,0002	0,010	0,00003	0,0002	0,17	0,97NS
Na	0,001	0,002	0,0002	0,00004	5,63	0,0003**
K	0,0004	0,004	0,00008	0,00008	1,13	0,36NS
Al	0,09	0,09	0,02	0,002	10,47	<0,0001**
CO	2,03	2,97	0,41	0,05	7,38	<0,0001**
P	91,84	925,51	18,36	17,13	1,07	0,39NS
CIC	116,18	217,30	23,24	4,02	5,77	<0,0002**
SB	1568,56	10732,05	313,71	198,74	1,58	0,18NS

Los grados de libertad para posición topográfica son 5; SC: suma de Cuadrados, SCE: suma de Cuadrados del error, CM: cuadrados medios, ** altamente significativo 1%, *significativo 5%, NS no significativo. C.E: Conductividad Eléctrica, Ca: Calcio, Mg: Magnesio, Na: Sodio, K: Potasio, Al: Aluminio, C.O: Carbono Orgánico, P: Fósforo, C.I.C: Capacidad de intercambio catiónico, SB: Saturación Básica.

La separación de medias a través de la prueba de rangos múltiples de Tukey se presenta en la tabla 14. Este demuestra que para la mayoría de las variables químicas no se encontraron tendencias claras asociadas con el flujo de materiales a lo largo de la catena, especialmente con los elementos solubles relacionados con la fertilidad.

El pH resultó ser significativamente menor en la posición del tope de colina con un promedio de 4,27. Las restantes posiciones geomorfológicas no presentaron diferencias con promedios que oscilaron entre 4,68 y 4,80. En todos los casos, estos valores indican suelos de condición fuertemente ácida.

Tabla 13. Valores promedios para las variables edáficas químicas por posición dentro del paisaje.

VARIABLES	Tope de colina	Vertiente Alta	Vertiente Media	Vertiente Baja	Mesa	Fondo de Valle
pH	4.27±0.06B	4.58±0.09A	4.80±0.06A	4.59±0.10A	4.58±0.07A	4.66±0.06A
C.E (dS.m ⁻¹)	0.06±0.01A	0.05±0.01A	0.07±0.01A	0.05±0.01A	0.05±0.01A	0.05±0.01A
Ca(cmol.kg ⁻¹)	0.13±0.03A	0.33±0.09A	0.13±0.06A	0.16±0.07A	0.18±0.09A	0.30±0.06A
Mg(cmol.kg ⁻¹)	0.18±0.05A	0.16±0.05A	0.13±0.04A	0.17±0.07A	0.14±0.04A	0.14±0.03A
Na(cmol.kg ⁻¹)	0.31±0.01A	0.30±0.00A	0.31±0.02A	0.33±0.03A	0.34±0.02A	0.20±0.03B
K(cmol.kg ⁻¹)	0.03±0.00A	0.07±0.04A	0.10±0.05A	0.03±0.00A	0.030.00A	0.08±0.03A
Al(cmol.kg ⁻¹)	1.67±0.36A	0.62±0.08B	0.32±0.03B	0.51±0.04B	0.55±0.12B	0.74±0.04B
CIC(cmol.kg ⁻¹)	7.56±0.61BA	6.42±0.63BA	5.40±0.40B	4.95±0.54B	5.86±0.66B	9.05±0.87A
SB (%)	15,86±2,20A	27,57±4,34A	25,29±5,11A	26,29±4,04A	26,73±6,98A	15,58±2,10A
CO (%)	0.70±0.07BA	0.40±0.07B	0.42±0.04B	0.55±0.08B	0.43±0.07B	0.90±0.10A
P (mg.kg ⁻¹)	2,31±0,46A	5,64±2,64A	4,05±1,57A	2,70±0,41A	2,29±0,33A	2,27±0,61A

C.E: Conductividad Eléctrica, Ca: Calcio, Mg: Magnesio, Na: Sodio, K: Potasio, Al: Aluminio, C.I.C: Capacidad de intercambio catiónico, SB: Saturación Básica, C.O: Carbono Orgánico, P: Fósforo. Medias con letras distintas dentro de una fila difieren significativamente al 5% (P<0,005).

La conductividad eléctrica (C.E.) resultó ser baja en todas las posiciones sin diferencias significativas con valores promedios entre 0,05 y 0,07 dS.m⁻¹ característicos de materiales muy lavados sin problemas de salinidad.

Las bases cambiables Ca⁺², Mg⁺² y K⁺, no mostraron diferencias entre las posiciones y sus valores resultaron ser bajos y sin una tendencia clara en el sentido de la pendiente. El Na⁺ resultó ser la única de las bases cambiables con un promedio significativamente más bajo en la posición del valle, atribuible a las condiciones de saturación hídrica en esa posición. El aluminio intercambiable Al⁺ fue significativamente mayor en los tope de colina con una media 1,67 cmol.kg⁻¹, mientras que el resto de las posiciones no mostraron diferencias entre si y los valores oscilaron entre 0,51 y 0,74 cmol.kg⁻¹.

La CIC fue significativamente más alta en el fondo de valle 9,05 cmol.kg⁻¹ atribuible al mayor porcentaje de arcilla en esa posición, sin embargo dicho valor no difiere significativamente con los observados en el tope de colina y vertiente alta, más si con las posiciones de vertiente media, vertiente baja y mesa. La saturación con bases (SB) de la CIC, no mostró diferencias entre las posiciones del paisaje y los valores

oscilaron entre 15,88 y 27,57%, típico de suelos fuertemente lavados. Aunque no se observaron diferencias estadísticas no se observaron las tendencias esperadas al incremento en el sentido de la pendiente desde el tope de colina hacia la posición del valle, en esta última, se observó el valor más bajo con 15,58%, pese a ser el destino de los flujos superficiales y laterales (Hook *et al.*, 2000).

El carbono orgánico (CO) presentó valores significativamente mayores en el fondo de valle, con un promedio de 0,90%, seguido del tope de colina, estadísticamente similar, con una media de 0,70%. Para el resto de las posiciones los valores oscilaron entre 0,40 y 0,55% sin diferencias estadísticas. El valor promedio más alto de CO en el fondo de valle, está acorde con el funcionamiento de la catena, es decir del flujo de materiales de las posiciones desde pendiente arriba. Sin embargo, la ocurrencia de un valor estadísticamente similar en el tope de colina y más alto que el de las posiciones intermedias se opone al modelo catenario. Estos resultados pueden ser considerados como una distribución atípica del carbono orgánico; fenómeno que ha sido reportado en condiciones tropicales por Johnson *et al.*, (2011) y atribuido a la formación de complejos órgano-minerales que dificulten la descomposición microbiana (Kleber *et al.*, 2005). Pudiera también atribuirse a la proporción de fragmentos gruesos observados en el tope de colina-loma. Esto porque los resultados del laboratorio se expresan en porcentaje de la fracción tierra fina; sin considerar la corrección por fragmentos gruesos. En este caso tal procedimiento considerando que el valor promedio es 23,9%, resultaría en un valor promedio de CO de 0,52%, que estaría más concordante con la secuencia catenaria.

El fósforo no varió significativamente entre las posiciones del paisaje, con promedios que variaron entre 2,27 mg.kg⁻¹ en el valle y 5,64 en la vertiente alta, con tendencia marcada al descenso en el sentido de la pendiente.

La baja relación entre la posición en el paisaje y las características químicas, refuerza la hipótesis de uniformidad en el material parental del cual se derivaron los suelos a lo largo de la toposecuencia analizada. Estos se han derivado fundamentalmente de areniscas, dando como resultados suelos arenosos, infértiles y

susceptibles a la erosión. Las deficiencias en bases cambiables, están fundamentalmente determinadas por el material parental, pudiendo estar acentuadas por el empobrecimiento en materia orgánica; como resultado de la deforestación y la labranza del suelo (Clemens *et al.*, 2010. La influencia humana, no se hace notar en la condición de fertilidad, pese a ser áreas dedicadas al pastoreo por más de cincuenta años. Esto es explicable por la tradición de la zona en producir con bajos insumos (Jiménez *et al.*, 2005).

IV.2.4. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA LAS VARIABLES EDAFICAS.

Este procedimiento de análisis estadístico fue aplicado sobre la matriz de las 21 variables edáficas consideradas para diferenciar la cobertura de suelos en el paisaje. Para ello se han seleccionado los seis primeros componentes considerando aquellos que presentaron autovalores en la matriz de correlación con magnitud mayor que el promedio (>1).

Cada componente se constituye en una nueva variable con un significado diferente a la variable original, por lo que se dice que es un índice que involucra diversas variables, combinadas linealmente cada una con una ponderación diferente, que sumadas conforman el autovector respectivo; cuyo significado depende de la ponderación o peso relativo de cada variable dentro del mismo. Esto tiene sentido en términos de explicación de la variabilidad en términos descriptivos, pero carece de fuerza para la explicación científica del tipo causa efecto (Quevedo, 1999).

El análisis descriptivo a través de los componentes principales para el conjunto de las variables de suelo consideradas, demostró que cinco (5) índices o componentes que en conjunto explican el 73,56% de la variación observada, en las características edáficas. Los mismos se exponen en la tabla 15, con base a la carga absoluta de cada variable dentro de cada componente, representado por el coeficiente lineal del autovector.

Tabla 14. Cargas absolutas de las variables de suelo en los cinco primeros componentes principales.

VARIABLES	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
Prof. Efectiva	0,320183	0,178285	-0,097115	-0,002032	0,150439
pH	0,093275	0,229302	-0,148474	0,243407	-0,488042
C.E	-0,074108	0,272543	0,363619	0,179233	0,198566
Ca	-0,075385	0,331849	0,178166	-0,207053	-0,384634
Mg	-0,0955420	0,336649	0,370051	-0,129130	0,007889
Na	0,125349	0,167096	0,368543	0,012494	0,143023
K	-0,013737	0,063684	-0,118594	0,640257	0,147826
Al	-0,239377	-0,133478	0,197689	0,010574	-0,198876
CO	-0,299260	-0,018900	0,059665	0,010574	-0,19876
P	0,035340	0,205850	0,120174	0,545986	-0,035733
CIC	-0,286686	0,034315	0,063794	0,183108	-0,171521
SB	0,139288	0,375233	0,195494	-0,225276	-0,039273
Esqueleto grueso	-0,068028	-0,335116	0,320689	0,023007	0,104726
Arena muy gruesa	0,024750	-0,307836	0,397173	0,078736	-0,079299
Arena gruesa	0,282022	-0,181263	0,246622	0,098354	-0,218941
Arena media	0,366723	-0,091849	0,246622	0,098354	-0,218941
Arena fina	0,199933	0,078217	-0,231313	-0,159425	0,159754
Arena muy fina	-0,044639	0,340854	-0,127046	-0,043004	0,433362
Arena total	0,381318	-0,070081	0,094473	0,033274	0,031520
Limo	-0,289175	0,009480	-0,108097	0,05693	-0,085974
Arcilla	-0,335634	0,087965	0,060508	-0,077759	0,009596

Componente principal (CP), CP 1: características texturales CP 2: relación de bases; CP 3: relación de fragmentos gruesos; CP 4: relación K/P; CP 5: relación de acidez.

Considerando el coeficiente lineal y su signo para cada variable dentro del componente, se les han asignado a los 5 primeros las siguientes denominaciones:

1. Características texturales que explica el 29% de la variación, y es definido por el peso relativo de arena total, limo y arcilla junto a la profundidad efectiva, todas con correlación de signo positivo

2. Relación de bases del suelo que explica un acumulado del 46% de la variación, con la participación de las variables Ca^{+2} , Mg^{+2} y saturación básica /SB). Con correlación positiva.
3. Relación de fragmentos gruesos que acumula el 58% de la variación, y esta definido por los porcentajes de fragmentos gruesos y arena muy gruesa.
4. Relación K/P acumulando el 67% y definido por el peso relativo de estas dos variables.
5. Relación de acidez con una variación acumulada de 73,56% y definido por la correlación de signo negativo entre pH, Ca^{+2} y Al^{+} .

Los autovectores resultantes para cada observación de suelos en función de los componentes principales 1 y 2, fueron relacionados con la posición dentro del paisaje de la cual proceden. Esto con el fin de visualizar cuan similares o diferentes son desde el punto de vista edáfico.

La figura 12 presenta la ubicación por coordenadas de cada observación en función de los componentes 1 y 2. El mismo permite visualizar la separación entre las posiciones geomorfológicas a partir de las variables edáficas analizadas como un todo. Puede apreciarse la conformación de tres conjuntos separados con bastante consistencia, uno formado por el valle, otro por el tope de colina-loma y un tercero conformado por las posiciones de mesa y vertientes, que se integran en un grupo con características de suelo muy similares.

Para la verificación de este resultado se efectuó la descripción, análisis y clasificación de edafones de suelo seleccionados como representantes de cada posición geomorfológica, como herramienta para verificar las variaciones morfológicas, físicas y químicas en el sentido de la pendiente (Brown *et al.*, 2004)

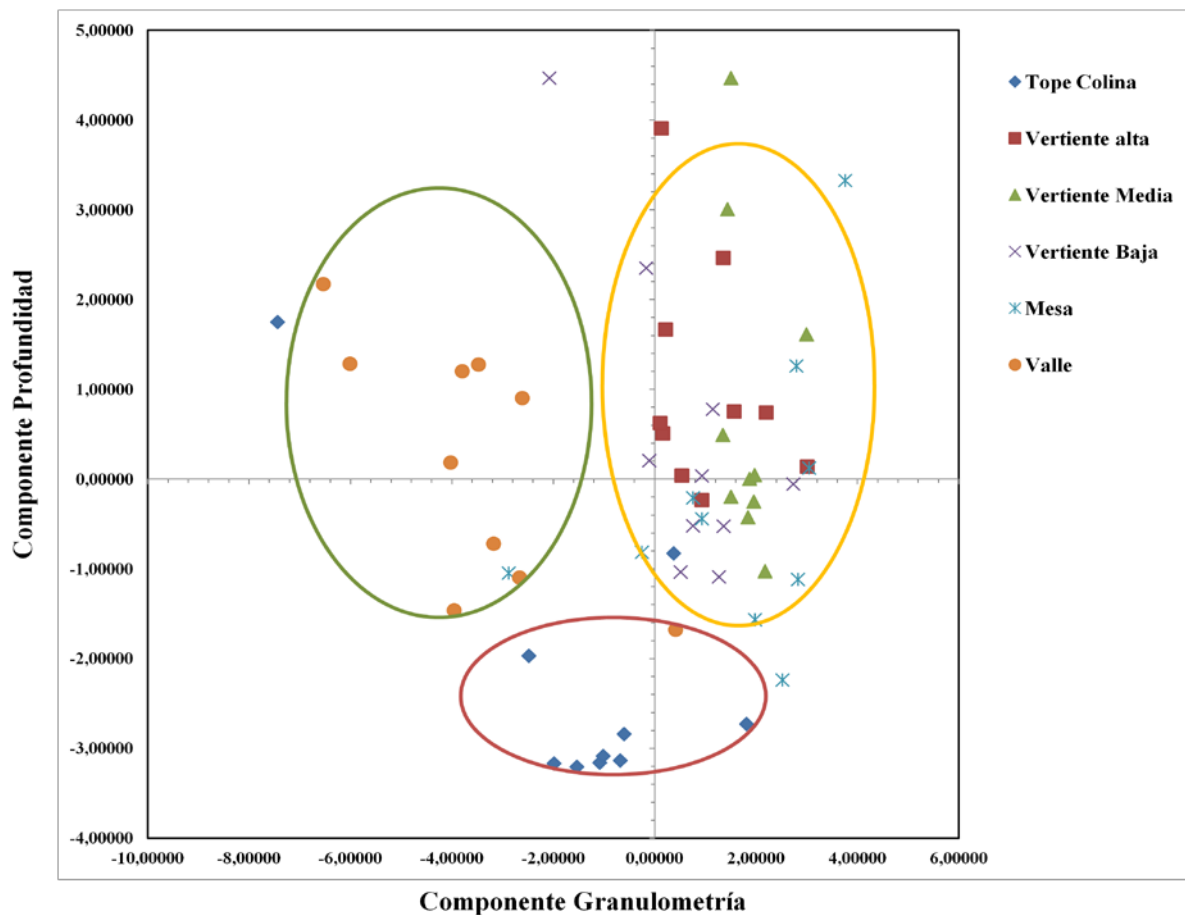


Figura 7. Gráfico de dispersión simple por coordenadas para los componentes principales 1 y 2

IV.2.5. DESCRIPCION DE SUELOS PARA LAS DIFERENTES POSICIONES GEOMORFOLOGICAS

Para las formas terrestres identificadas en la catena, con base a los chequeos de campo y los atributos de forma del terreno pendiente, se seleccionaron seis (6) sitios de calicata, para la caracterización de los edafones, cuya morfología y análisis físico-químico se presentan a continuación en las tablas 16-27, y se ilustran con las imágenes 7-18.

Tabla 15. Descripción del perfil 1, *Typic Haplustults*, arcilloso esquelético/fragmentario caolinítico, isohipertermico. Posición geomorfológica de tope de colina-loma.

0 – 9 cm. Bt1	Franco arcilloso; color en seco y en húmedo rojo amarillento (7.5YR 7/6 y 7.5YR 6/6); estructura blocosa subangular débil media; extremadamente duro en seco, extremadamente firme en húmedo; adhesivo y plástico en mojado; frecuentes películas de arcilla; pocas raíces; poca actividad biológica; límite claro y plano.
9 -21 cm. Bt2	Franco arcilloso; marrón fuerte (7.5YR 5/6) húmedo; estructura blocosa subangular débil media; muy duro en seco; friable en húmedo; adhesivo y plástico en mojado; frecuentes películas de arcilla; pocas raíces; poca actividad biológica; límite claro y plano.
21 - 55 cm. Bt3	Arcilloso; marrón fuerte (7.5YR 5/6) húmedo; estructura blocosa subangular media débil; extremadamente duro en seco, friable en húmedo, muy adhesivo y plástico en mojado; frecuentes películas de arcilla; pocas raíces; poca actividad biológica; límite abrupto y ondulado.
55 - + cm. 2Bt4	Franco; marrón fuerte (7.5YR 5/6), Mayor al 75% de fragmentos grueso; muchas películas de arcillas.

Fecha de descripción: 26-03-2008

Ubicación: Hacienda Buena Esperanza Km. 342 Machiques-Colón Municipio

Machiques de Perijá.

Clima: Sub Húmedo

Vegetación: Saeta: *Trachypogon sp* cañahuate: *Tabebuia sp*.

Uso del Suelo: Pastoreo extensivo de especies nativas.

Geología Geomorfología: Formación La Villa, paisaje colinar, tope de Colina.

Relieve: Ondulado

Drenaje: Bien drenado

Tabla 16. Análisis físico químico perfil 1, *Typic Haplustults*, arcilloso esquelético/fragmentario caolínítico, isohipertermico. Posición geomorfológica de tope de colina-loma.

Horizonte	Prof.	pH	C E(dS m ⁻¹)	C.O	P (B)	Bases Intercambiables cmol kg ⁻¹					H + Al	C.I.C (1)	% Sat. (1)
	(cm)	1:2,5	H ₂ O 1:2,5	%	Ppm	Ca	Mg	Na	K	Total	cmol kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹	Bases
Bt1	0-9	5,20	0,220	0,78	2,2	0,20	0,80	0,60	0,95	2,55	5,65	8,20	31,10
Bt2	9-21	5,87	0,210	0,74	1,9	0,16	0,44	0,86	0,50	1,96	5,85	7,81	25,10
Bt3	21-55	5,68	0,270	0,43	1,2	0,16	0,32	0,94	0,36	1,78	5,41	7,19	24,80
Bt4	55-+	5,18	0,050	0,23	1,2	0,12	0,22	0,38	0,22	0,94	1,84	2,78	33,81

Horizonte	Prof. (cm)	% Esq. Grueso >2 mm	Análisis Mecánico			
			% a	% L	% A	Nombre Textural
Bt1	0-9	27,0	37,5	32,5	30,0	FA
Bt2	9-21	35,0	25,0	35,0	40,0	A-FA
Bt3	21-55	30,80	32,5	32,5	35,0	FA
Bt4	55-+	75,08	37,5	37,5	25,0	F

C.E= Conductividad Eléctrica 25 °C

C.O= Carbono Orgánico

CIC (1)= Capacidad de Intercambio Catiónico (NH₄OAc)

CIC (2)= Capacidad de Intercambio Catiónico (Sumatoria de bases)

Ac. Inter= Acidez intercambiables Totales

% Sat. Bases= Porcentaje de saturación básica

Imagen 7. Perfil 1. Edafón característico del suelo *Typic Haplastults*, arcilloso-esquelético fragmentario, caolonítico, isohipertérmico en posición de tope de colina

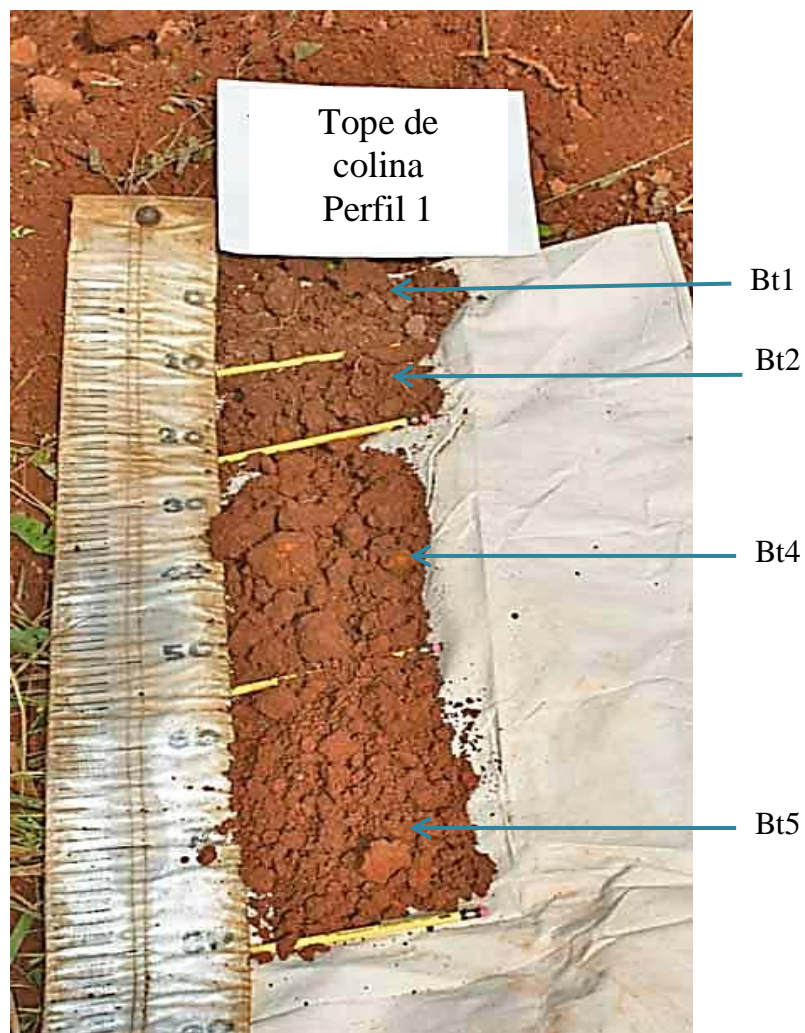
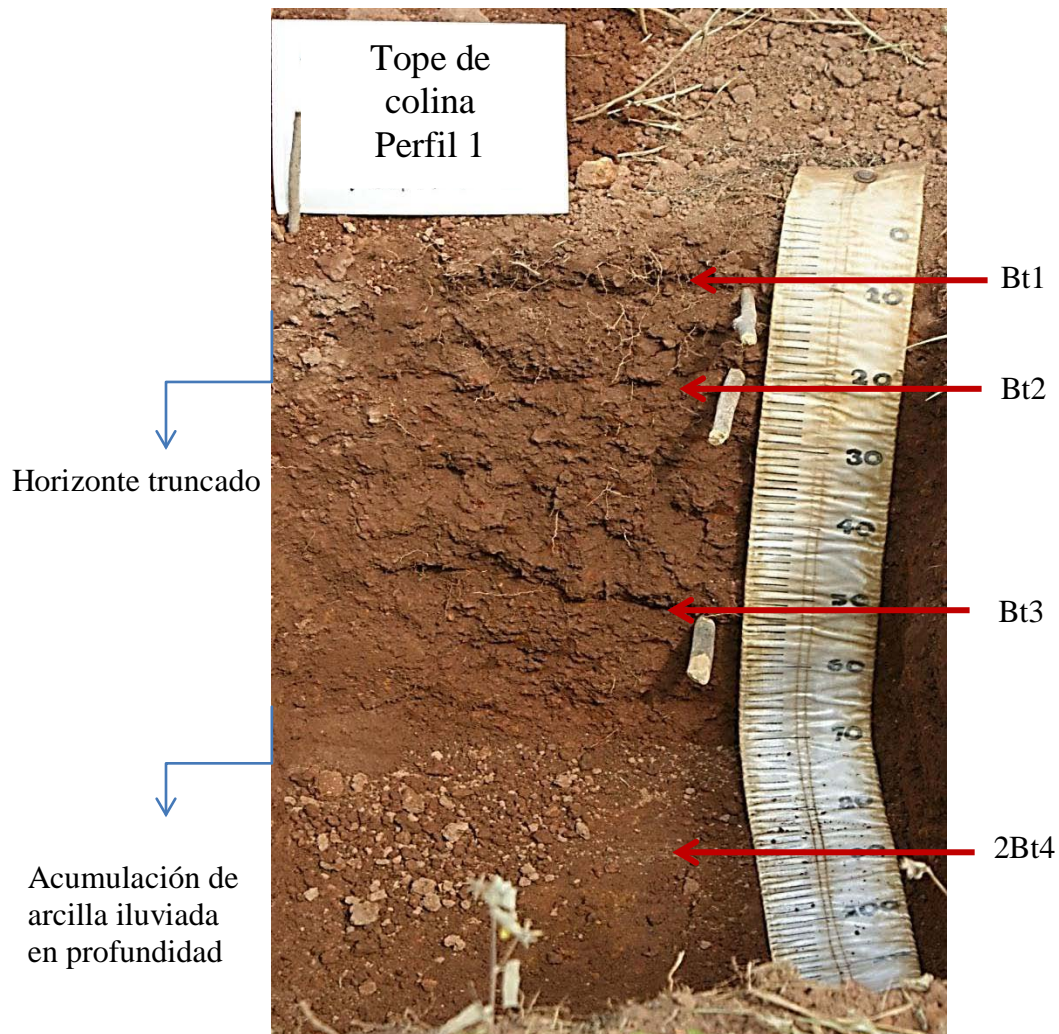


Imagen 8. Perfil 1 Edafón característico del suelo *Typic Haplustults*, arcilloso-esquelético fragmentario, caolonítico, isohipertérmico en posición de tope de colina



El edafón *Typic Haplustults*, arcilloso-esquelético fragmentario, caolinitico, isohipertérmico presenta un alto desarrollo con un perfil truncado, exponiendo en la superficie el B dentro del espesor de más de 1 m, sin epiedafón y endoedafón iluvial (Bt) argílico, que desde la superficie hasta 55cm es arcilloso esquelético y a mayor profundidad es fragmentario. La argiluvación es visible en el recubrimiento de los elementos estructurados, en los fragmentos gruesos y en poros, su presencia aumenta con la profundidad formando el Bt argílico.

Tabla 17. Descripción del perfil 2, *Typic Haplustults*, franco grueso/arenoso, caolínico, isohipertérmico. Posición geomorfológica de vertiente alta.

0 – 17 cm Ap	Franco arenoso; marrón amarillento (10YR5/4) en húmedo; estructura grano simple; consistencia suelta en húmedo, no adhesivo y no plástica en mojado; sin reacción al ácido; muchas raíces; poca actividad biológica; límite claro plano.
17– 54 cm E	Franco arenoso; marrón oscuro (7.5YR4/4), en húmedo; estructura blocosa sub angular débil muy fina; consistencia suelta en húmedo, no adhesivo y no plástico en mojado; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; muchas raíces; límite claro y plano.
54 – 88 cm Bt1	Franco arenoso; marrón (7.5YR5/4), en húmedo; estructura blocosa sub angular débil muy fina; consistencia suelta en húmedo, no adhesivo y no plástica en mojado; frecuentes películas de arcilla; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; muchas raíces; límite claro y plano.
88 – 130 cm Bt2	Arenoso; marrón (7.5YR5/4) en húmedo; con frecuentes moteados rojo oscuro (2.5YR3/6); estructura blocosa sub angular débil media; abundantes lamelas de arcilla; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; muchas raíces; más de 35% de esqueleto grueso.
130-200 cm Bt3	Arenoso; marrón (7.5YR5/4) en húmedo; estructura blocosa sub angular débil media; abundantes lamelas de arcilla; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; pocas raíces.

Fecha de descripción: 26-03-2008

Ubicación: Hacienda Buena Esperanza Km 342 Machiques – Colon, Municipio

Machiques de Perijá.

Clima: Sub Húmedo

Vegetación: Cabima: *Copaifera venezuelana* Harms & Pittier algarrobo: *Hymenea courbaril* L.

Uso del Suelo: Uso pecuario pasto alambre *Brachiaria humidicola*

Geología Geomorfología: Formación La Villa. Paisaje Colinar. Posición geomorfológica de vertiente alta.

Relieve: Ondulado

Drenaje: Algo excesivamente drenado,

Tabla 18. Análisis físico químico perfil 2, *Typic Haplustults*, franco grueso/arenoso, caolínico, isohipertérmico. Posición geomorfológica de vertiente alta

Horizonte	Prof. (cm)	pH H ₂ O	C E (dS m ⁻¹)	C.O	P (B)	Al	Bases Intercambiables cmol kg ⁻¹					H+Al	C.I.C (1)	C.I.C (2)	% Sat. Bases (1)	% Sat. Bases (2)
		1: 2,5	H ₂ O 1: 2,5	%	ppm	cmol kg ⁻¹	Ca	Mg	Na	K	Total	cmol kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹		
Ap	0-17	5,48	0,263	0,75	1,5	0,26	0,5	0,2	t	t	0,70	0,36	3,15	1,06	22,22	60,34
E	17-54	5,38	0,184	0,37	1,00	0,20	t	t	t	t	t	0,41	3,70	0,41	0	0,00
Bt1	54-88	4,98	0,183	0,25	1,5	0,10	t	t	t	t	t	0,60	3,00	0,6	0	0,00
Bt2	88-130	4,89	0,152	0,34	0,00	0,10	t	t	t	t	t	0,64	3,30	0,64	0	0,00
Bt3	130-200	5,01	0,151	0,15	1,00	0,20	t	t	t	t	t	0,54	2,35	0,54	0	0,00

Horizonte	Prof. (cm)	% Esq. Grueso >2 mm	% ARENAS					% a	% L	% A	Nombre Textural
			Muy Gruesa	Gruesa	Media	Fina	Muy Fina				
			2-1mm	1- 0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,1 mm	0,1-0,05 mm				
Ap	0-17	0	3,79	22,97	29,35	19,16	0,02	75,30	20,00	4,70	a
E	17-54	0	5,05	20,08	29,10	20,21	2,99	77,50	17,8	4,70	a
Bt1	54-88	0	1,81	11,93	29,64	24,61	2,20	70,20	22,2	7,60	a
Bt2	88-130	0	2,93	18,47	31,11	18,24	0,02	70,80	22,0	7,60	a
Bt3	130-200	0	1,57	19,52	31,84	17,97	1,14	71,70	23,3	5,00	a

C.E= Conductividad Eléctrica 25 °C

C.O= Carbono Orgánico

CIC (1)= Capacidad de Intercambio Catiónico (NH₄OAc)

CIC (2)= Capacidad de Intercambio Catiónico (Sumatoria de bases)

Ac. Inter= Acidez intercambiables Totales

% Sat. Bases= Porcentaje de saturación básica

t= traza

Imagen 9. Perfil 2 del suelo *Typic Haplustults*, francoso grueso/arenoso, caolinítico, isohipertérmico en posición de vertiente alta.

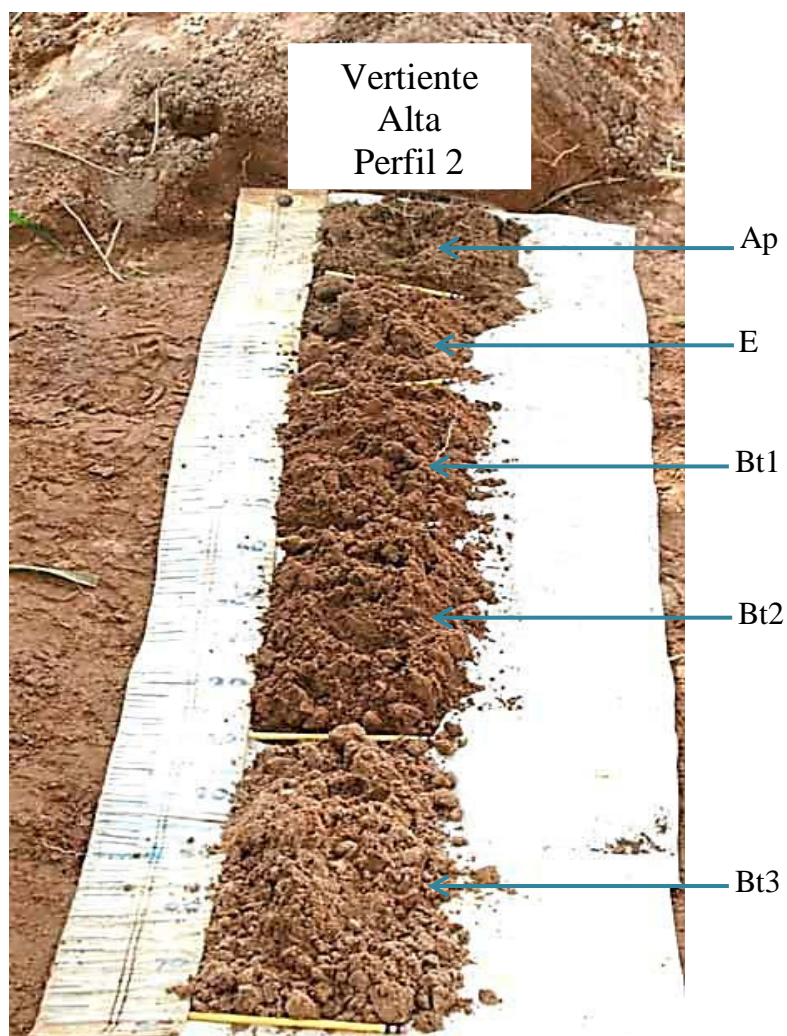
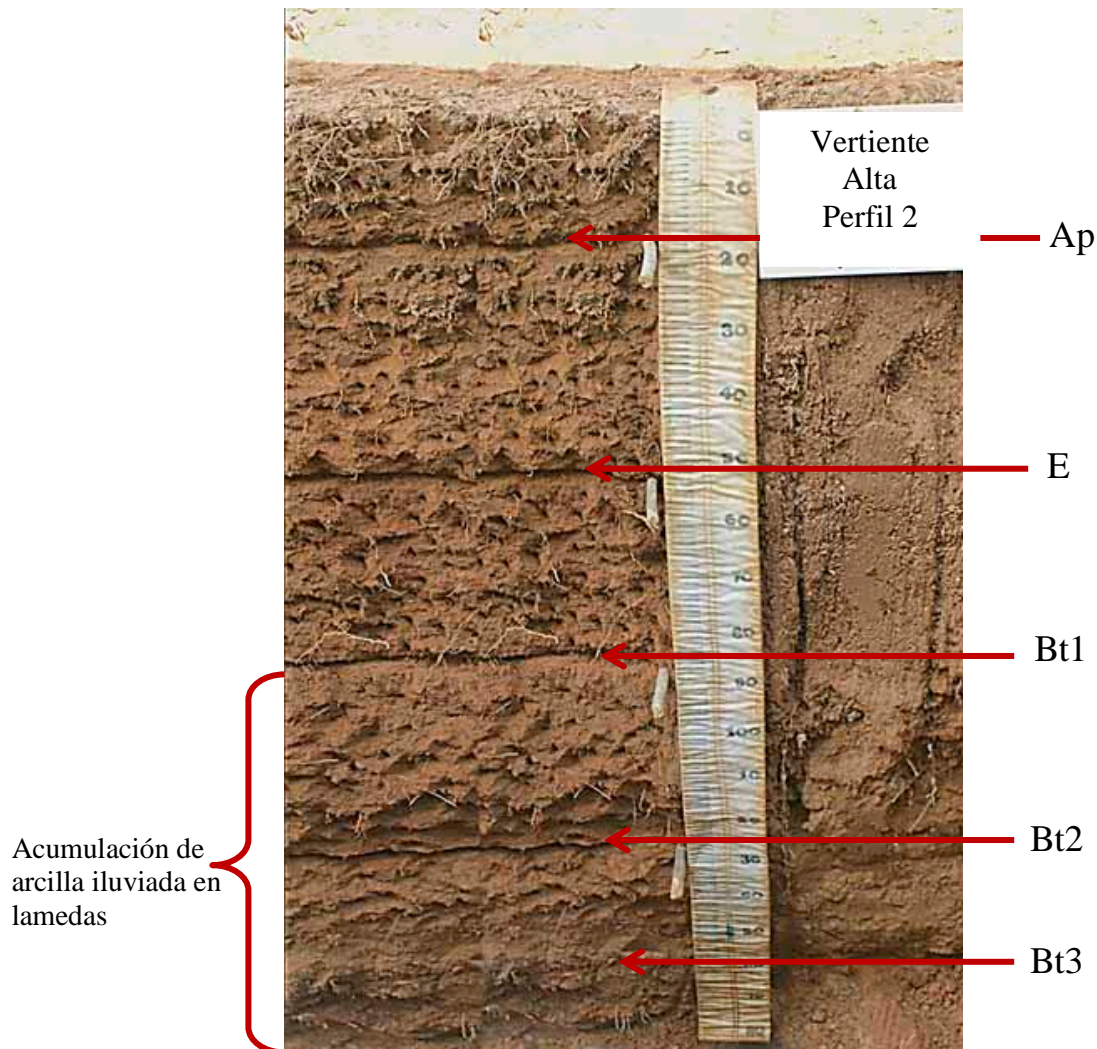


Imagen 10. Perfil 2 del suelo *Typic Haplustults*, francoso grueso/arenoso, caolínítico, isohipertérmico en posición de vertiente alta.



El edafón *Typic Haplustults*, francoso grueso/arenoso, caolínítico, isohipertermico presenta un alto desarrollo con un perfil A-E-B dentro del espesor de descripción de 2m, epiedafón ochrico (espesor de 17 cm) y endoedafón con un horizonte eluvial (espesor 37 cm) y un horizonte iluvial argílico (límite inferior de 2m desde la superficie del suelo). Dicho horizontes diagnósticos son muy evidentes; la argiluviación es visible en los recubrimientos en poros y elementos estructurales, a mayor profundidad de los 88cm la arcilla iluvial sirve de puente de unión entre los granos de arena formando abundante lamelas.

Tabla 19. Descripción del perfil 3, *Typic Haplustults*, franco grueso/arenoso, caolínico, isohipertérmico Posición geomorfológica de vertiente media.

0 – 17 cm Ap	Franco arenoso; marrón amarillento (10YR5/4) en húmedo; estructura blocosa sub angular muy fina y débil; consistencia suelta en húmedo, no adhesivo y no plástica en mojado; sin reacción al ácido; muchas raíces; poca actividad biológica; límite claro plano.
17– 54 cm E	Franco arenoso; marrón oscuro (7.5YR4/4) en húmedo; estructura blocosa sub angular débil muy fina; consistencia suelta en húmedo, no adhesivo y no plástico en mojado; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; muchas raíces; límite claro y plano.
54 – 88 cm Bt1	Franco arenoso; marrón (7.5YR5/4), en húmedo; estructura blocosa sub angular, débil muy fina; consistencia suelta en húmedo y no adhesivo y no plástica en mojado; frecuentes películas de arcilla; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; muchas raíces; límite claro y plano.
88 – 120 cm Bt2	Arenoso; marrón (7.5YR5/4) en húmedo; frecuentes moteados rojo oscuro (2.5YR3/6); estructura blocosa sub angular débil media; abundantes lamelas de arcilla; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; muchas raíces; más de 35% de esqueleto grueso.
120 - 145 cm Bt3	Arenoso; marrón (7.5YR5/4) en húmedo; frecuentes moteados rojo oscuro (2.5YR3/6); estructura blocosa sub angular débil media; abundantes lamelas de arcilla; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; muchas raíces
145 +- cm Btgv1	Plintita dura mayor al 90%.

Fecha de descripción: 26-03-2008

Ubicación: Hacienda Buena Esperanza Km 342 Machiques – Colon municipio

Machiques de Perijá.

Clima: Sub Húmedo

Vegetación: Cabima: *Copaifera venezuelana* Harms & Pittier algarrobo: *Hymenea courbaril* L.

Uso del Suelo: Uso pecuario pasto alambre *Brachiaria humidicola*

Geología y Geomorfología: Formación La Villa. Paisaje Colinar. Posición de vertiente media.

Relieve: Ondulado

Drenaje: Bien drenado

Tabla 20, Análisis físico químico perfil 3, *Typic Haplustults*, franco grueso/arenoso, caolínico, isohipertérmico, Posición geomorfológica de vertiente media

Horizonte	Prof, (cm)	pH H ₂ O 1: 2,5	C E (dS m ⁻¹) H ₂ O 1: 2,5	C,O %	P (B) ppm	Al cmol kg ⁻¹	Bases Intercambiables cmol kg ⁻¹					H+Al cmol kg ⁻¹	C,I,C (1) cmol kg ⁻¹	C,I,C (2) cmol kg ⁻¹	% Sat, Bases (1)	% Sat, Bases (2)
							Ca	Mg	Na	K	Total					
Ap	0-17	5,19	0,496	0,92	3,00	0,26	t	0,35	t	0,02	0,37	0,32	3,25	0,69	11,40	53,62
E	17-54	4,35	0,256	0,42	t	0,25	t	0,35	t	t	0,35	0,97	1,80	1,32	19,44	26,52
Bt1	54-88	4,10	0,922	0,40	t	0,26	0,20	0,30	t	t	0,50	1,96	7,10	2,46	7,04	20,32
Bt2	88-120	4,04	0,153	0,32	t	0,65	0,20	0,30	0,04	t	0,54	1,64	4,47	2,18	12,08	24,77
Bt3	120-145	4,04	0,153	0,32	t	0,65	0,20	0,30	0,04	t	0,54	1,64	4,47	2,18	12,08	24,77
Btgv1																

Horizonte	Prof, (cm)	% Esq, Grueso >2 mm	% ARENAS					% a	% L	% A	Nombre Textural
			Muy Gruesa	Gruesa	Media	Fina	Muy Fina				
			2-1mm	1- 0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,1 mm	0,1-0,05 mm				
Ap	0-17	0	1,53	15,69	29,96	19,90	0,66	67,7	28,3	4,00	Fa
E	17-54	0	1,36	19,64	26,30	14,46	0,03	61,8	31,7	6,50	Fa
Bt1	54-88	0	1,80	12,80	25,42	15,89	1,05	57,00	32,9	10,10	Fa
Bt2	88-120	0	1,75	14,87	24,49	14,37	2,06	78,3	19,5	2,20	a
Bt3	120-145	0	1,75	14,87	24,49	14,37	2,06	78,3	19,5	2,20	a
Btgv1											

C.E= Conductividad Eléctrica 25 °C

C.O= Carbono Orgánico

CIC (1)= Capacidad de Intercambio Catiónico (NH₄OAc)

CIC (2)= Capacidad de Intercambio Catiónico (Sumatoria de bases)

Ac. Inter= Acidez intercambiables Totales

% Sat. Bases= Porcentaje de saturación básica

t= traza

Imagen 11. Perfil 3. Edafon característico del suelo *Typic Haplastults*, francosa gruesa, caolinítico, isohipertérmico en posición de vertiente media.

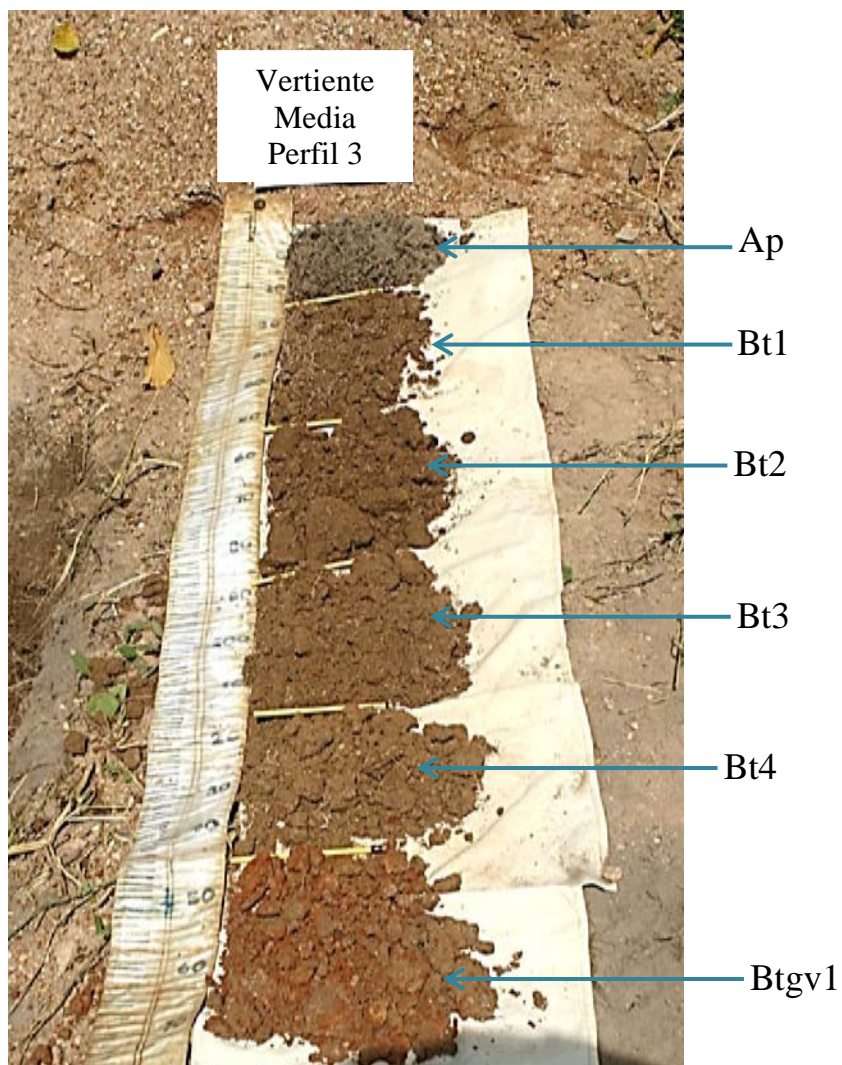
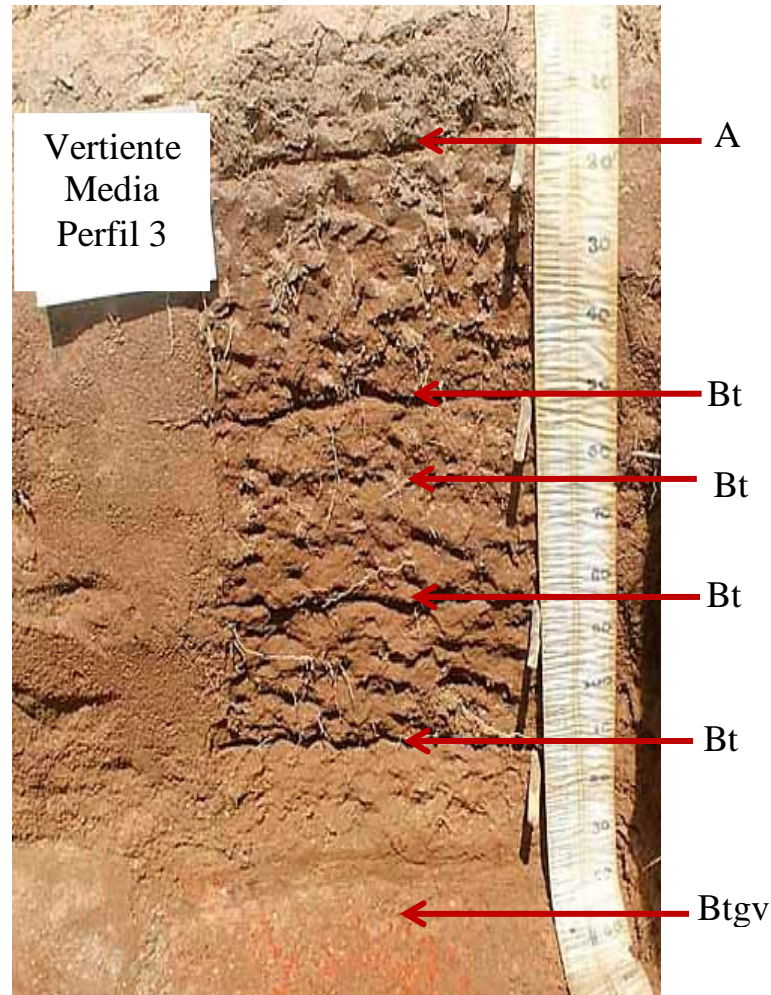


Imagen 12. Perfil 3. Edafon característico del suelo *Typic Haplustults*, francosa gruesa, caolinítico, isohipertérmico en posición de vertiente media.



El edafon *Typic Haplustults*, francoso grueso/arenoso, caolinítico, isohipertérmico presenta un alto desarrollo con un perfil A-E-B dentro del espesor de los 2m, epiedafón ochrico (espesor de 17 cm) y endoedafón con un horizonte eluvial (espesor de 37cm) y un horizonte iluvial argílico (límite inferior de 2m desde la superficie del suelo) Dichos horizontes son muy evidentes; la argiluviación es visible en los recubrimientos en poros y elementos estructurales, a mayor profundidad de los 88cm la arcilla iluvial sirve de puente de unión entre los granos de arena formando abundante lamelas y a mayor profundidad de los 145cm la existencia de colores gley (mal drenaje) y plintita (>90%) en el Bt argílico.

Tabla 21. Descripción del perfil 4, *Typic Paleustults*, francosa gruesa, caolinítica, isohipertérmica.
Posición geomorfológica de vertiente baja.

0 – 20 cm Ap	Areno francoso; marrón claro (10YR7/3) en seco y marrón amarillento (10YR4/6) en húmedo; blocosa subangular, débil, fina; blanda en seco, muy friable en húmedo, no adhesivo y no plástico en mojado; sin reacción al HCl; frecuente actividad biológica; frecuentes raíces; límite claro y plano.
20– 50 cm E1	Franco arenoso; marrón amarillento (10YR7/4) en seco y marrón oscuro (10YR5/4) en húmedo; blocosa subangular, débil, fina; blanda en seco, muy friable en húmedo, no adhesivo y no plástico en mojado; sin reacción al HCl; frecuente actividad biológica; frecuentes raíces; límite claro y plano.
50 – 88 cm E2	Franco arenoso; marrón claro (10YR7/3), en seco y marrón oscuro (10YR5/4) en húmedo; blocosa subangular, débil, fina; blanda en seco, muy friable en húmedo, no adhesivo y no plástico en mojado; sin reacción al HCl; frecuente actividad biológica; poca raíces; límite claro y plano.
88 – 125 cm Bt1	Franco arcillo arenoso; rojo amarillento (7.5YR7/4) en seco y rojo amarillento, (7.5YR6/6) en húmedo; blocosa subangular moderada, fina; débilmente dura en seco, muy friable en húmedo, adhesivo y plástico en mojado; películas de arcilla frecuentes, delgadas; sin reacción al HCl; poca actividad biológica; pocas raíces; límite claro y plano.
125-140 cm Bt2g1	Franco arcilloso arenoso; marrón amarillento (7.5YR5/4) en húmedo; moteados marrón rojizo (5YR5/8) pocas, pequeñas, claras y grises (N/7), frecuentes, medias y claras; blocosa subangular moderada y media; dura en seco, friable en húmedo, adhesivo y plástico en mojado; sin reacción al HCl; muchas películas de arcillas, gruesas; poca actividad biológica; pocas raíces; límite claro y plano.
140-200 cm Bt3g2	Franco arcilloso arenoso; gris (7/N 50%) en húmedo y moteado marrón amarillento (7.5YR6/6 10%), y marrón rojizo (10R4/8 40%); blocosa subangular, moderada y media; débil en húmedo, adhesivo y plástico en mojado; inclusiones de Fe, Mn, pocas y medianas; Sin reacción al HCl; muchas películas de arcillas gruesas; poca actividad biológica; pocas raíces.

Fecha de descripción: 12-03-2008

Ubicación: Finca Los Caraños.

Clima: Subhúmedo-húmedo

Vegetación Natural: Cabima: *Copaifera venezuelana* Harms & Pittier algarrobo:
Hymenea courbaril L.

Uso del Suelo: Uso pecuario pasto alambre *Brachiaria humidicola*

Geología y Geomorfología: Material parental formación La Villa. Paisaje Colinar.

Posición geomorfológica vertiente baja.

Relieve: Ondulado, pendiente 3-8%.

Drenaje: Externo rápido e interno rápido, suelo bien drenado.

Tabla 22. Análisis físico químico perfil 4, *Typic Paleustults*, francosa gruesa, caolinítica, isohipertérmica. Posición geomorfológica de vertiente baja.

Horizonte	Prof. (cm)	pH H ₂ O	C E (dS m ⁻¹)	C.O	P (B)	Al	Bases Intercambiables cmol kg ⁻¹					H+Al	C.I.C (1)	C.I.C (2)	% Sat. Bases (1)	% Sat. Bases (2)
		1: 2,5	H ₂ O 1: 2,5	%	ppm	cmol kg ⁻¹	Ca	Mg	Na	K	Total	cmol kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹		
Ap	0-20	5,59	0,35	0,75	3,22	0,18	0,4	0,03	t	0,06	0,49	0,36	5,62	0,85	8,72	57,65
E1	20-50	5,18	0,08	0,18	0,38	0,36	0,38	0,05	t	t	0,43	0,54	5,00	0,97	8,6	44,33
E2	50-88	5,12	0,08	0,18	0,16	0,54	0,43	0,05	t	t	0,48	0,54	5,00	1,02	9,6	47,06
Bt1	88-125	4,73	0,03	0,22	0,60	1,26	0,45	0,05	t	t	0,50	1,62	7,50	2,12	6,67	23,58
Bt2	125-140	4,53	0,03	0,09	0,13	2,16	0,38	0,05	0,22	0,04	0,69	2,52	10,62	3,21	6,50	21,50
Bt3	140-200	4,58	0,03	0,18	0,04	1,62	0,35	0,08	t	t	0,43	1,98	6,25	2,41	6,88	17,84

Horizonte	Prof. (cm)	% Esq. Grueso >2 mm	% ARENAS					% a	% L	% A	Nombre Textural
			Muy Gruesa	Gruesa	Media	Fina	Muy Fina				
			2-1mm	1- 0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,1 mm	0,1-0,05 mm				
Ap	0-20	1	4,19	25,46	27,68	19,54	7,47	84,34	4,04	11,60	aF
E1	20-50	0,55	4,53	20,89	26,39	17,4	9,56	77,77	11,83	10,40	Fa
E2	50-88	1,34	3,25	20,09	24,92	19,83	9,06	77,15	9,65	13,20	Fa
Bt1	88-125	2,64	2,84	16,37	21,11	17,72	8,48	66,52	3,48	30,00	FAa
Bt2	125-140	8,56	3,35	14,17	18,46	16,54	8,02	60,54	7,86	31,60	FAa
Bt3	140-200	2,23	2,8	17,34	22,29	17,18	6,7	66,31	7,69	26,00	FAa

C.E= Conductividad Eléctrica 25 °C

C.O= Carbono Orgánico

CIC (1)= Capacidad de Intercambio Catiónico (NH₄OAc)

CIC (2)= Capacidad de Intercambio Catiónico (Sumatoria de bases)

Ac. Inter= Acidez intercambiables Totales

% Sat. Bases= Porcentaje de saturación básica

t= trazas

Imagen 13. Perfil 4. Edafon característico del suelo *Typic Paleustults*, francosa gruesa, caolinítica, isohipertérmico en posición de vertiente baja.

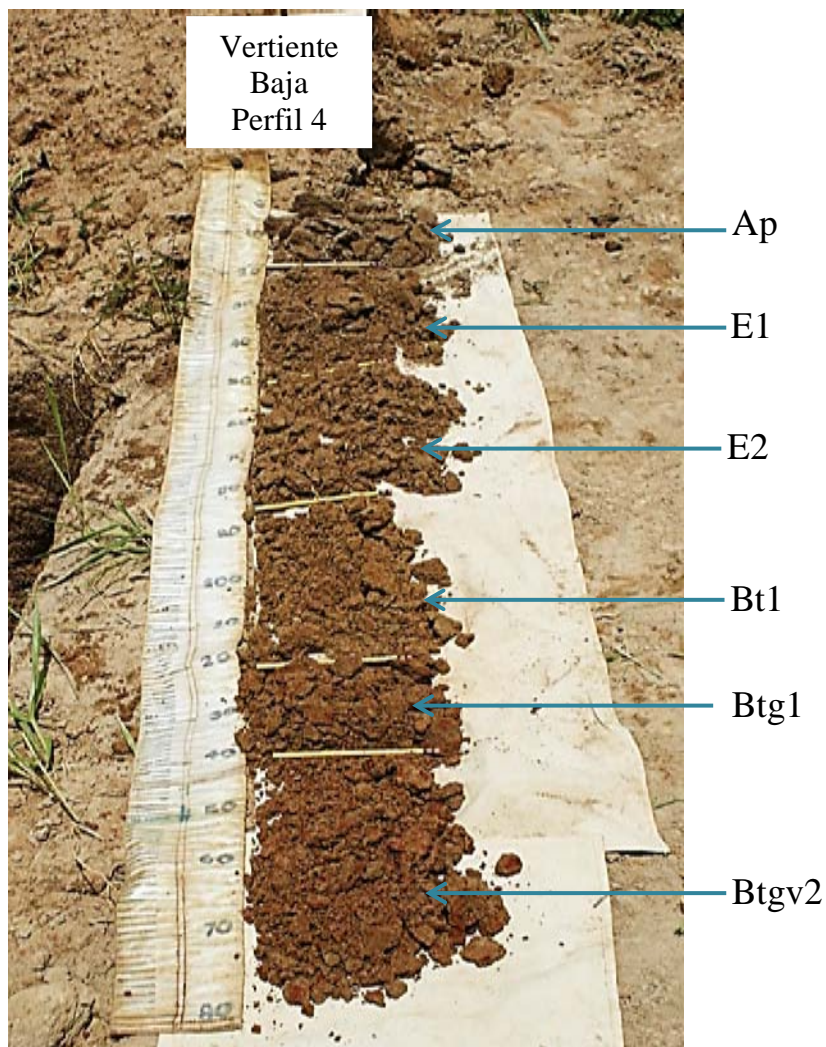
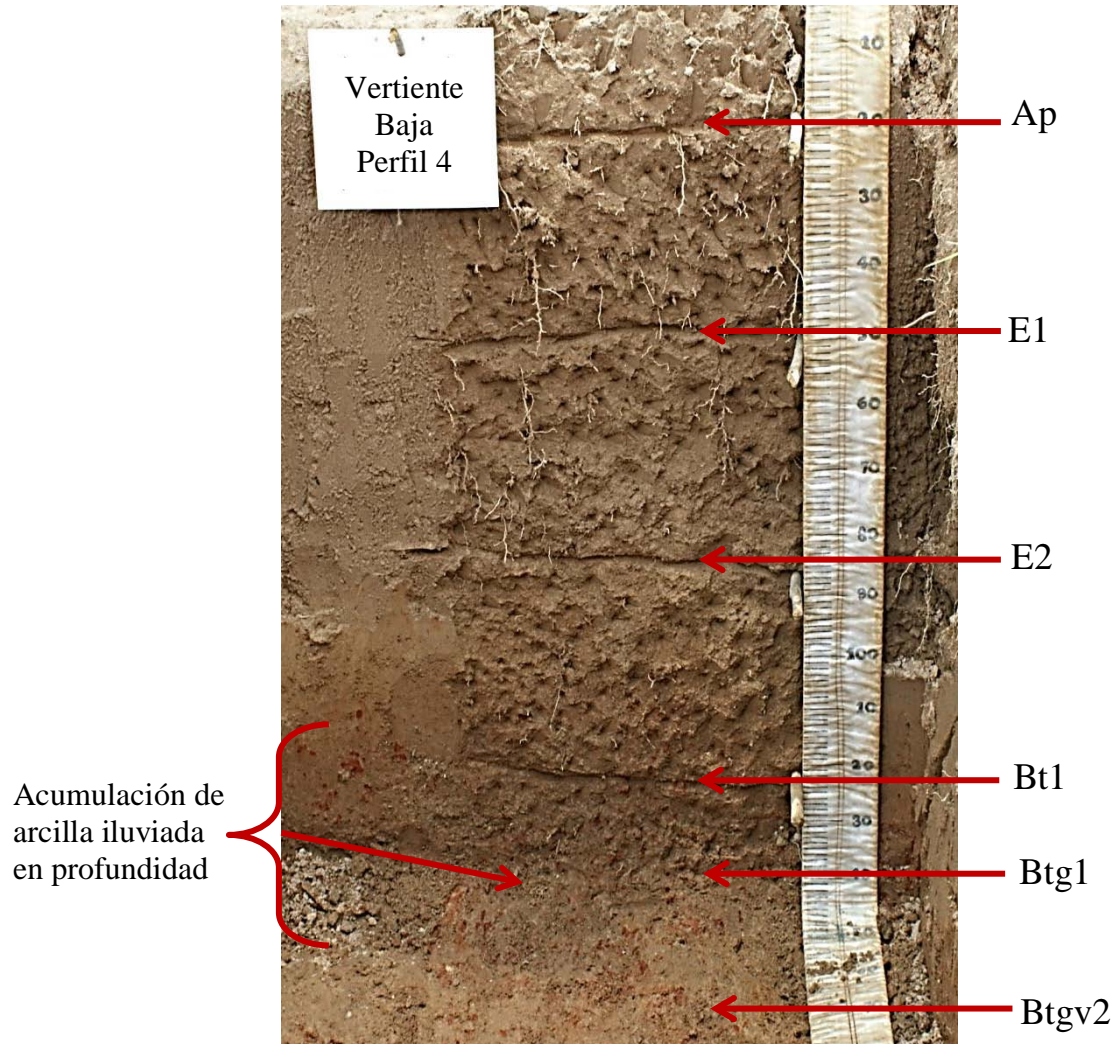


Imagen 14. Perfil 4. Edafón característico del suelo *Typic Paleustults*, francosa gruesa caolinítica, isohipertérmico en posición de vertiente baja.



El edafón *Typic Paleustults*, francosa gruesa, caolinítica, isohipertérmica presenta un alto desarrollo con un perfil A-E-B dentro del espesor de los 2 m, epiedafón ochrico (espesor de 20 cm) y endoedafón con un horizonte eluvial (espesor de 20 cm) y endoedafón con un horizonte eluvial (espesor de 68cm) y un horizonte iluvial argílico (límite inferior de 2m desde la superficie del suelo). Dichos horizontes son muy evidentes; la argiluviación es visible en los recubrimientos en poros y elementos estructurales, aumentando su presencia con la profundidad; a partir de los 125 cm de profundidad de presencia frecuente de moteados grises y rojizos en el Bt argílico.

Tabla 23. Descripción del perfil 5, *Grossarenic Haplustults*, caolinítico, isohipertérmico posición geomorfológica de mesa conservada.

0 – 18 cm Ap	Arenoso; marrón amarillento oscuro (10 YR6/4), en seco, marrón amarillento (10 YR5/6) en húmedo; estructura grano simple; consistencia suelta en seco y en húmedo, no adhesivo y no plástica en mojado; sin reacción al ácido clorhídrico; poca actividad biológica; raíces frecuentes; límite claro y plano.
18 – 43 cm E	Arenoso; marrón amarillento (10YR5/6) en húmedo; estructura grano simple; consistencia suelta en húmedo y no adhesivo y no plástica en mojado; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; frecuentes raíces; límite claro y plano.
43 – 74 cm Bt1	Arenoso; amarillo rojizo (7,5YR6/6) en húmedo; estructura grano simple; consistencia suelta en húmedo y no adhesivo y no plástica en mojado; pocas lamelas de arcilla; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; muchas raíces; límite gradual y difuso.
74 – 105 cm Bt2	Arenoso; marrón (7,5YR5/8) en húmedo; estructura grano simple; consistencia suelta en húmedo y no adhesivo y no plástica en mojado; abundantes lamelas de arcilla; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; muchas raíces; límite claro y plano.
105 - 180 cm Bt3	Arenoso; marrón fuerte (7.5YR5/8) en húmedo; estructura grano simple; consistencia suelta en húmedo y no adhesiva y no plástica en mojado pocas lamelas de arcilla; sin reacción al ácido; poca actividad biológica; pocas raíces.

Información general del sitio

Fecha de descripción: 26-03-2008

Ubicación: Hacienda Buena Esperanza Km. 342 Machiques – Colón, municipio

Machiques de Perijá.

Clima: Sub Húmedo

Vegetación: Camajón: *Sterculia apetala* (Jacq.) Karst penda: *Tabebuia chrysea* (Blake)

Uso del Suelo: Pasto marandú (*Brachiaria brizantha*)

Geología y Geomorfología: Material Parental formación la Villa. Paisaje Colinar.

Posición Geomorfológica mesa conservada

Relieve: Mesa casi plana

Drenaje: Excesivamente drenado

Tabla 24. Análisis físico químico perfil 5, caolinítico, isohipertérmico posición geomorfológica de mesa conservada.

Horizonte	Prof, (cm)	pH H ₂ O	C E (dS m ⁻¹)	C,O	P (B)	Al	Bases Intercambiables cmol kg ⁻¹					H+Al	C,I,C (1)	C,I,C (2)	% Sat, Bases (1)	% Sat, Bases (2)
		1: 2,5	H ₂ O 1: 2,5	%	ppm	cmol kg ⁻¹	Ca	Mg	Na	K	Total	cmol kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹		
Ap	0-18	0,198	0,263	0,75	1,5	0,20	0,5	0,2	t	0,5	1,20	0,36	3,15	1,56	38,10	76,92
E	18-43	0,154	0,184	0,37	1,00	0,20	t	t	t	t	t	0,41	3,70	0,41	0	0,00
Bt1	43-74	0,136	0,183	0,25	1,5	0,10	t	t	t	t	t	0,60	3,00	0,6	0	0,00
Bt2	74-105	0,131	0,152	0,34	0,00	0,10	t	t	t	t	t	0,64	3,30	0,64	0	0,00
Bt3	105-180	0,151	0,151	0,15	1,00	0,34	t	t	t	t	t	0,54	2,35	0,54	0	0,00

Horizonte	Prof, (cm)	% Esq, Grueso >2 mm	% ARENAS					% a	% L	% A	Nombre Textural
			Muy Gruesa	Gruesa	Media	Fina	Muy Fina				
			2-1mm	1- 0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,1 mm	0,1-0,05 mm				
Ap	0-18	0	3,79	22,97	29,35	19,16	0,02	75,30	20,00	4,70	a
E	18-43	0	5,05	20,08	29,10	20,21	2,99	77,50	17,8	4,70	a
Bt1	43-74	0	1,81	11,93	29,64	24,61	2,20	70,20	22,2	7,60	a
Bt2	74-105	0	2,93	18,47	31,11	18,24	0,02	70,80	22,0	7,60	a
Bt3	105-180	0	1,57	19,52	31,84	17,97	1,14	71,70	23,3	5,00	a

C.E= Conductividad Eléctrica 25 °C

C.O= Carbono Orgánico

CIC (1)= Capacidad de Intercambio Catiónico (NH₄OAc)

CIC (2)= Capacidad de Intercambio Catiónico (Sumatoria de bases)

Ac. Inter= Acidez intercambiables Totales

% Sat. Bases= Porcentaje de saturación básica

t= trazas

Imagen 15. Perfil 5. Edafón característico del suelo *Grossarenic Haplustults*, caolínítico, isohipertérmico en posición de mesa conservada

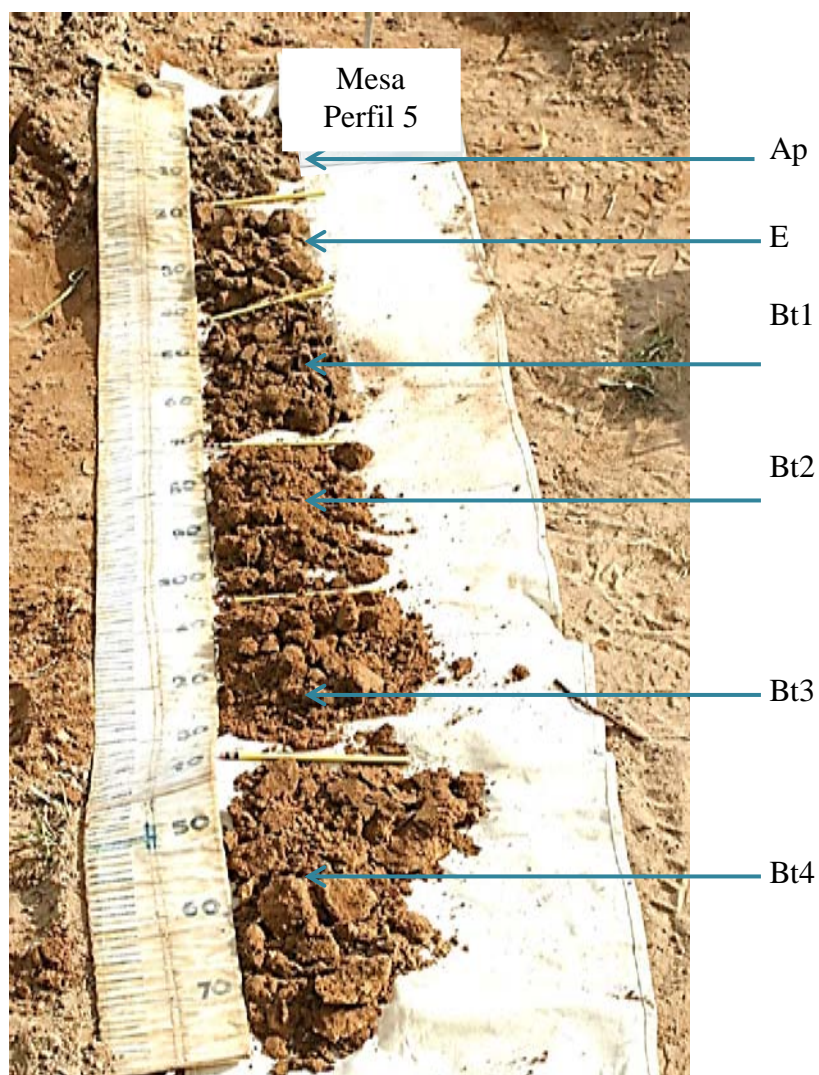
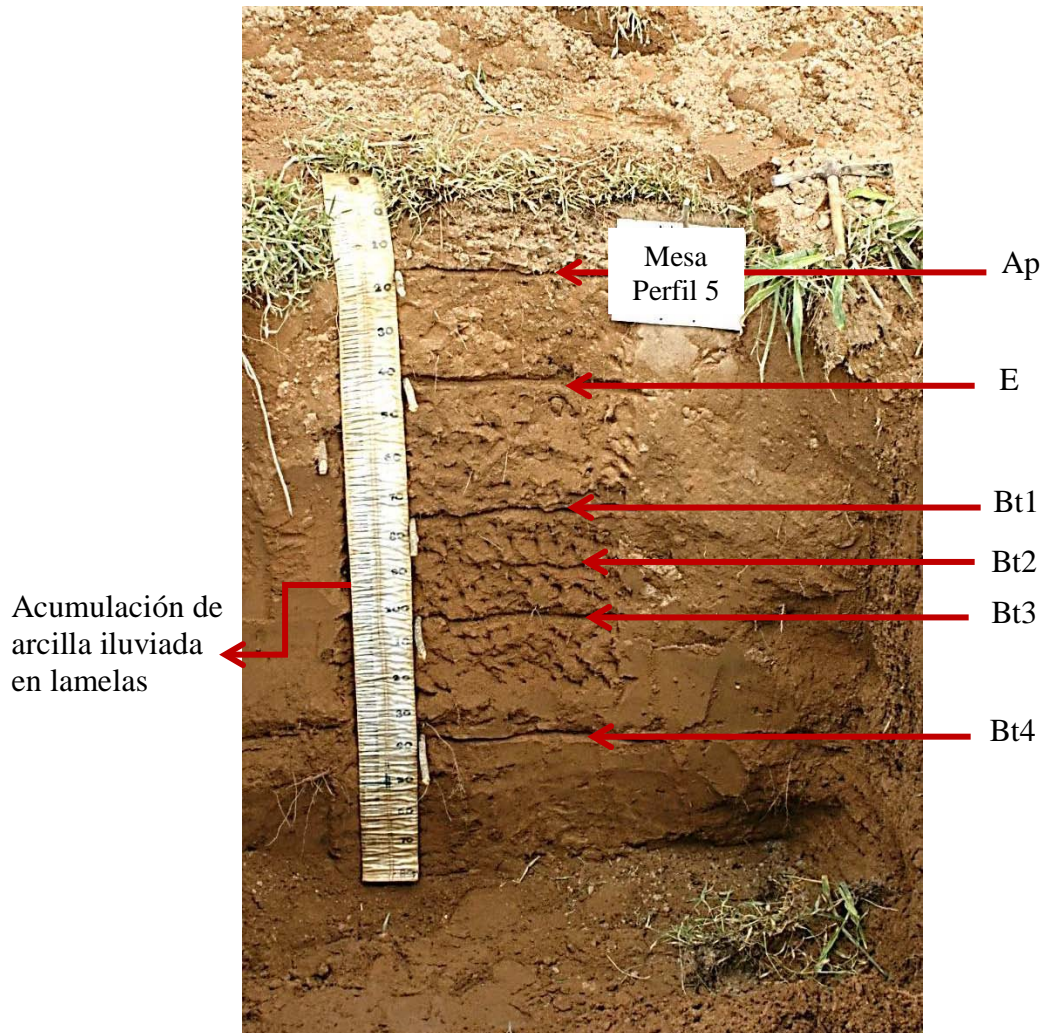


Imagen 16. Perfil 5 del suelo *Grossarenic Haplustults* caolinítico, isohipertérmico en posición de mesa conservada.



En general el edafón *Grossarenic Haplustults* caolinítico, isohipertérmico, presenta un alto desarrollo con un perfil A-E-B dentro del espesor de descripción de 2m, epiedafón ochrico (espesor de 18cm) y endoedafón con un horizonte eluvial (espesor de 25cm) y un horizonte iluvial argílico (límite inferior de 2m desde la superficie del suelo). Dichos horizontes diagnósticos son muy evidentes; la argiluviación es visible en los recubrimientos de arena y sirven de punto de unión entre la misma formando las lamelas abundantes y de diferentes grosores del Bt argílico.

Tabla 25. Descripción del perfil 6, Clasificación taxonómica: Typic Endoaquults, francosa fina, caolínico, isohipertérmico Posición geomorfológica de valle intracolinar.

0 –21 cm Ap _g	Franco arenoso; marrón claro (7.5 YR5/2 90%) en húmedo; moteado marrón amarillento (10YR5/6), frecuente, pequeños y nítidos; blocosa subangular, débil, fina; muy friable en húmedo, débilmente adhesivo y débilmente plástico en mojado; sin reacción al HCl; mucha actividad biológica; muchas raíces; límite claro y plano.
21– 47 cm Btg1	Franco arenoso; marrón grisáceo (7.5YR6/2 90%) en húmedo; moteado marrón amarillento (5YR5/8 10%), medianas y nítidas; blocosa subangular, débil, fina; muy friable en húmedo, adhesivo y plástico en mojado; sin reacción al HCl; mucha actividad biológica; muchas raíces; límite claro y plano.
47 – 79 cm Btg2	Franco gris (6/N 90%) en húmedo; moteado marrón amarillento (5YR5/8 10%), medianos y nítidos; blocosa subangular, débil, fina; blanda en seco, muy friable en húmedo, no adhesivo y no plástico en mojado; Inclusiones de Fe, Mn, pocas y medianas; películas de arcilla pocas y delgadas; sin reacción al HCl; frecuente actividad biológica; frecuente raíces; límite claro y plano.
79 – 103 cm Btg3	Arcilloso; gris (6/N 70%) en húmedo; moteados marrón amarillento, (5YR6/8 30%), grandes y nítidos; blocosa subangular moderada, fina; débilmente dura en seco, muy friable en húmedo, adhesivo y plástico en mojado; inclusiones de Fe, Mn, pocas y medianas; películas de arcilla frecuentes, delgadas; sin reacción al HCl; poca actividad biológica; pocas raíces; límite claro y plano.
103-140 cm Btg4	Franco arcilloso; gris (6/N 60%) en húmedo; moteados marrón amarillento (5YR5/8 40%), grande y nítido; blocosa subangular moderada y media; dura en seco, friable en húmedo, adhesivo y plástico en mojado; inclusiones de Fe, Mn, muchas y medianas; sin reacción al HCl; películas de arcillas muchas, gruesas; poca actividad biológica; pocas raíces; límite claro y plano.
140-200 cm Btg5	Franco arcilloso; gris (6/N 70%) en húmedo; moteados marrón amarillento (10YR6/6 10%), medianos y claros y marrón amarillento (5YR5/8 20%), grandes y nítidos; blocosa subangular, moderada y media; débil en húmedo, adhesivo y plástico en mojado; inclusiones de Fe, Mn, muchas y medianas; sin reacción al HCl; películas de arcillas muchas, gruesas; poca actividad biológica; pocas raíces.

Fecha de descripción: 12-03-2008

Ubicación: Finca Los Caraños.

Clima: Subhúmedo-húmedo

Vegetación Natural: *Limpia botella*: *Setaria geniculata* (Lam) Beau, Paja arroz: *Paspalum* sp., Tamarindillo: *Aeschynomene* sp.

Uso del Suelo: Pecuario. Pasto tanner: *Brachiaria arecta*, matorral ralo.

Geología y Geomorfología: Material parental formación La Villa. Paisaje valle.

Posición geomorfológica valle intracolinar.

Relieve: Plano ligeramente deprimido, pendiente 1%

Drenaje: Externo lento e interno lento, suelo muy pobremente drenado

Tabla 26. Análisis físico químico del perfil 6, Clasificación taxonómica: Typic Endoaquults, franco fino, caolínico, isohipertérmico Posición geomorfológica de valle intracolinar.

Horizonte	Prof. (cm)	pH H ₂ O	C E (dS m ⁻¹)	C.O	P (B)	Al	Bases Intercambiables cmol kg ⁻¹					H+Al	C.I.C (1)	C.I.C (2)	% Sat. Bases (1)	% Sat. Bases (2)
		1: 2,5	H ₂ O 1: 2,5	%	ppm	cmol kg ⁻¹	Ca	Mg	Na	K	Total	cmol kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹		
Apg	0-21	4,82	0,28	0,88	0,78	0,54	0,38	0,02	t	t	0,40	0,72	5,62	1,12	7,12	35,71
Btg1	21-47	4,82	0,15	0,22	0,27	0,54	0,35	0,03	t	t	0,38	0,90	5,00	1,28	7,60	29,69
Btg2	47-79	4,76	0,04	0,09	0,18	2,16	0,45	0,43	t	t	0,88	2,88	9,37	3,76	9,39	23,40
Btg3	79-103	4,99	0,05	0,09	0,17	2,52	0,58	0,55	0,18	0,06	1,37	3,06	13,12	4,43	10,44	30,93
Btg4	103-140	4,78	0,04	0,18	0,11	3,24	0,99	0,69	0,85	0,08	2,61	4,86	16,87	7,47	15,47	34,94
Btg5	140-200	4,68	0,03	0,09	0,11	4,50	0,70	0,65	0,15	0,08	1,58	5,40	13,75	7,38	11,49	21,41

Horizonte	Prof. (cm)	% Esq. Grueso >2 mm	% ARENAS					% a	% L	% A	Nombre Textural
			Muy Gruesa	Gruesa	Media	Fina	Muy Fina				
			2-1mm	1- 0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,1 mm	0,1-0,05 mm				
Apg	0-21	0,07	5,78	20,24	16,38	10,31	5,27	57,98	30,82	11,20	Fa
Btg1	21-47	1,43	4,66	19,5	16,95	10,28	7,08	58,47	27,93	13,60	Fa
Btg2	47-79	16,29	2,95	11,71	11,25	8,32	7,29	41,52	31,68	26,80	F
Btg3	79-103	23,68	1,66	5,7	8,06	8,02	6,3	29,74	29,06	41,20	A
Btg4	103-140	22,43	3,64	10,59	10,43	4,79	8,07	37,52	23,68	38,80	FA
Btg5	140-200	0,07	3,07	12,42	11,16	5,7	9,44	41,79	26,21	32,00	FA

C.E= Conductividad Eléctrica 25 °C

C.O= Carbono Orgánico

CIC (1)= Capacidad de Intercambio Catiónico (NH₄OAc)

CIC (2)= Capacidad de Intercambio Catiónico (Sumatoria de bases)

Ac. Inter= Acidez intercambiables Totales

% Sat. Bases= Porcentaje de saturación básica

t= trazas

Imagen 17. Perfil 6. Edafón característico del suelo *Typic Endoaquuults*, francoso fino, caolínítico, isohipertérmico en posición de valle intercolinar.

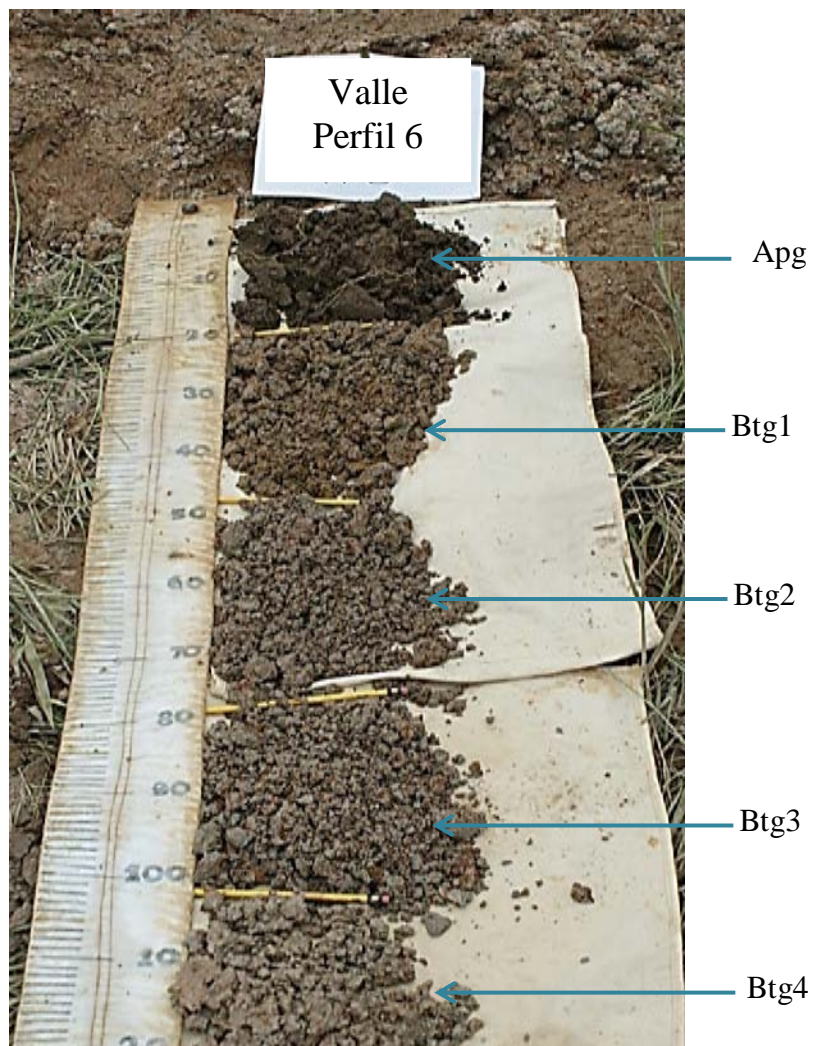
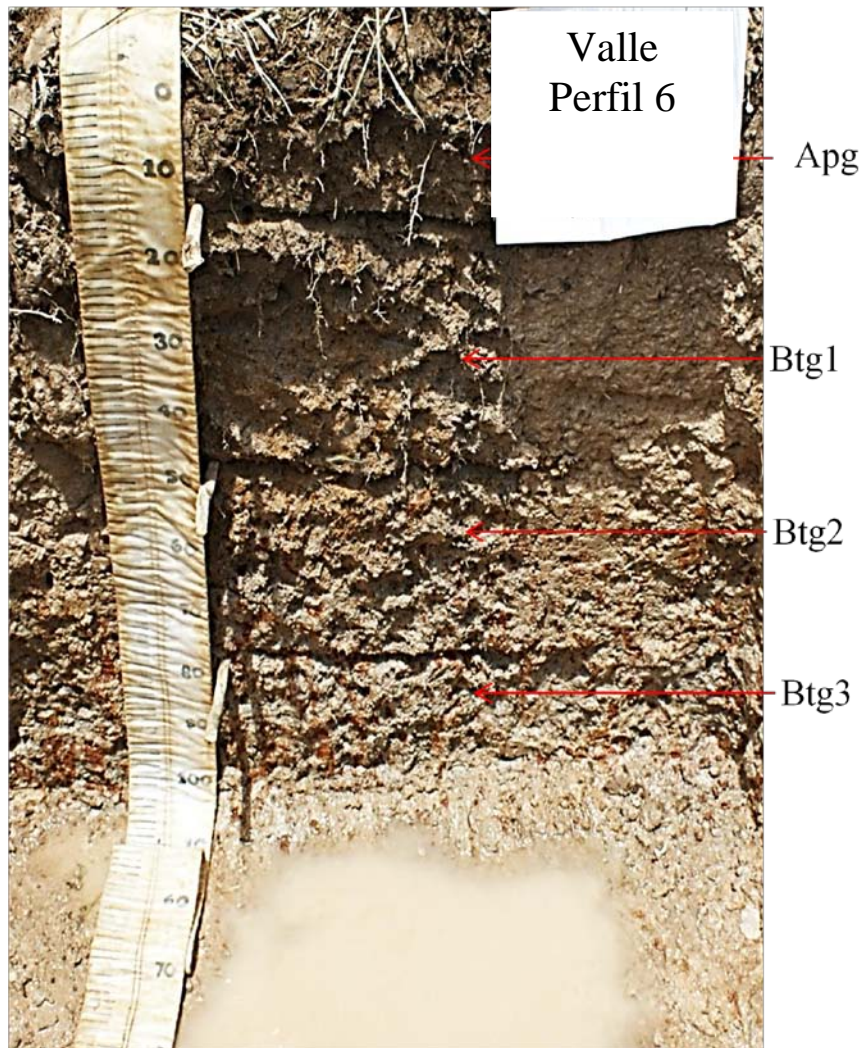


Imagen 18. Perfil 6 Edafón característico del suelo *Typic Endoaquults*, francoso fino, caolinítico, isohipertérmico en posición de valle intracolinar.



El edafón *Typic Endoaquults*, francoso fino, caolinítico, isohipertérmico presenta un alto desarrollo con un perfil A-B-B dentro del espesor de los 2m, epiedabón ochrico (espesor de 21cm) y un horizonte iluvial argílico (límite inferior de 2m desde la superficie del suelo). Dichos horizontes son muy evidentes; la argiluvición es visible en los recubrimientos en poros y elementos estructurales, aumentando su presencia con la profundidad; el perfil desde la superficie hasta más de 2m de profundidad, está influenciado por el proceso de reducción originando los colores grises (mal drenado) en todo el suelo.

IV.2.6 MODELO EDAFOGEO MORFOLOGICO.

Mediante la superposición del modelo geomorfológico idealizado con los resultados de la caracterización edáfica, se obtuvo el modelo edafogeomorfológico presentado en la figura 8.

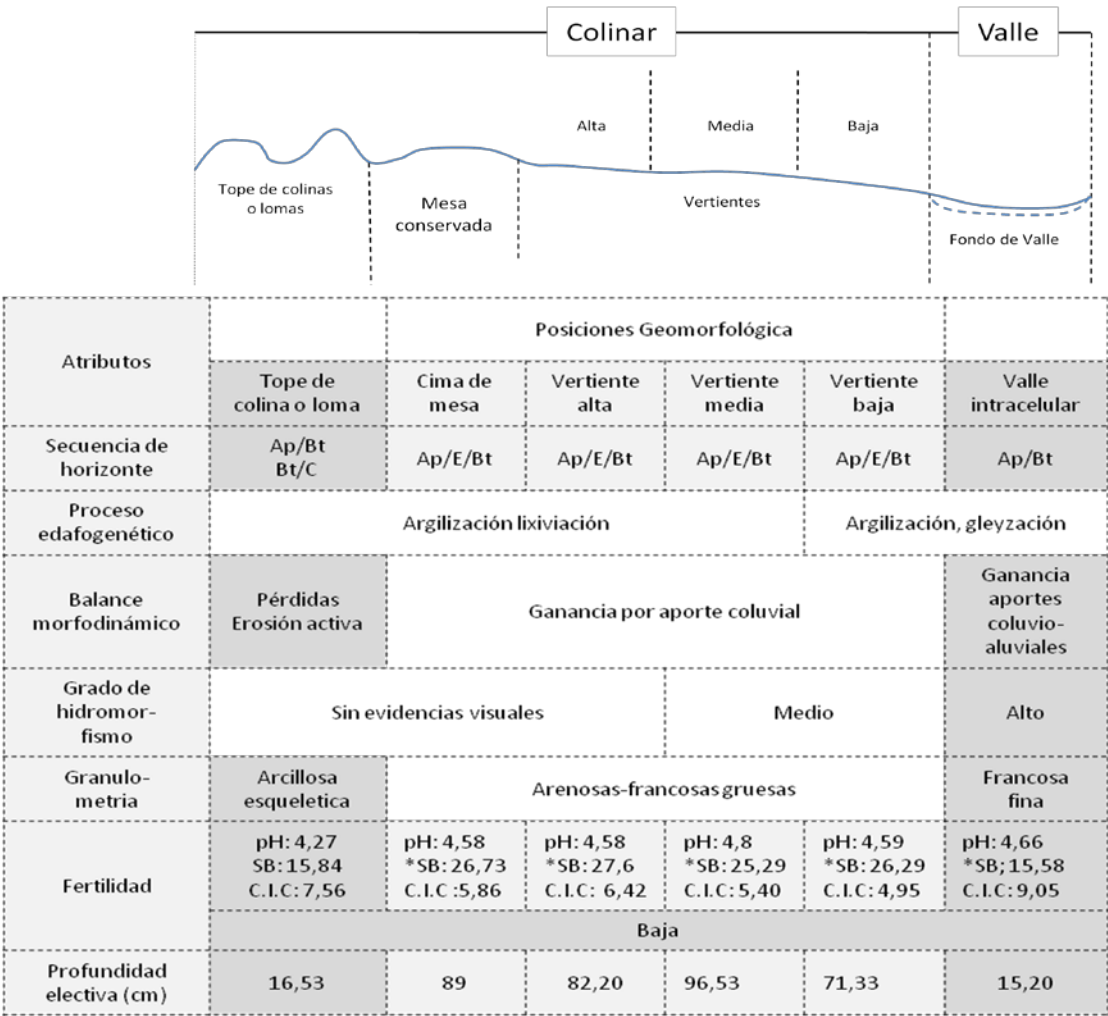


Figura 8. Modelo edafogeomorfológico de la cuenca Cañada La Gorda.

En este se resumen las características más resaltantes de los suelos en cada posición del terreno. Destaca una secuencia de horizonte dominada por un Ap de espesor variable, seguido del E en las posiciones con mayor estabilidad. En las menos estables el B aparece expuesto como suele ocurrir en el tope de colina-loma. Para toda la catena suelos se destaca una alta pedogénesis, caracterizada por la presencia del horizonte B con arcillas de origen iluvial, suficiente como para la formación

clasificación como horizontes argílicos producto de la argiiluviación (Soil Survey Staff, 2010).

El flujo del escurrimiento superficial a lo largo de la catena, aunado a las actividades humanas ha determinado un balance morfodinámico negativo para las posiciones tope de colina-loma, en los cuales la pérdida de vegetación y malas prácticas de manejo han determinado la activación de procesos erosivos y el arrastre de materiales hacia posiciones más bajas, evidenciados por microrelieves de surcos y cárcavas, la pérdida total del horizonte Ap y parcial del horizonte E, llegando en algunos casos a los horizontes B y horizonte C, tal como ilustrado en las imágenes 5 y 6.

En las posiciones de mesas conservadas y vertientes altas, medias y bajas se encontró un balance morfodinámico positivo-negativo, determinado por la ganancia mediante aportes coluviales; evidenciados por las variaciones en la granulometría detectadas en los análisis en los cuales se observan saltos en la distribución de la fracción arenosa principalmente para arenas muy gruesas y gruesas, y por la existencias de áreas desprovistas de vegetación y procesos de erosión activa.

En el valle intracolinar el balance es positivo asociado a los aportes de origen aluvio-coluvial, evidenciados en un incremento en la fracción de limosa (minerales primarios) y discontinuidades litológicas demostrados en los saltos de fracción de arena gruesa en las capas superficiales.

El control del gradiente topográfico sobre los procesos hidrológicos de escurrimiento y flujo lateral han determinado suelos bien drenados y excesivamente drenados en las posiciones altas del terreno sin evidencias de hidromorfismo. En tanto que para las posiciones de vertiente baja y fondo de valle, se detectaron procesos de hidromorfismo medios en el primer caso y altos en este último, dadas las características observadas en los perfiles 5 y 6 por la ocurrencia de colores grises a partir del 1,20 m en el 5 y desde la superficie para el 6, suficientes como ser considerados como intergrados Aquic y régimen de humedad Aquic (Soil Survey Staff, 2010).

Las variables edáficas relacionadas con la fertilidad permiten señalar que la misma es extremadamente baja en todas las posiciones del terreno al presentar pH fuertemente ácidos, con lixiviación intensa comprobada por los bajos valores de saturación básica y la ausencia casi total de cationes monovalentes (sodio y potasio) del complejo de cambio, con muy baja capacidad de intercambio catiónico (CIC). Destaca la baja actividad química en las posiciones más altas del terreno topes de colina, cima de mesa y vertiente alta, en las cuales los suelos tienden a ser químicamente inertes, con una CIC determinada fundamentalmente por la materia orgánica y arcillas de cargas variables. Las posiciones de vertiente bajas y fondo de valle mostraron valores más altos de CIC en los horizontes superficiales y en profundidad, explicable por incremento de la arcilla, pero igualmente con muy baja saturación básica y reacción fuertemente ácida.

Todos los suelos fueron clasificados como Ultisoles según la taxonomía de suelo americana (Soil Survey Staff, 2010) y en ese sentido, y en cuanto a la presencia de materiales de suelos derivados de areniscas, intensamente afectados por los procesos de lavado y vulnerables a la degradación, muestra mucha similitud con otras toposecuencias descritas en condiciones del trópico subhúmedo y húmedo de África, sur de Asia y Sur América (Agbenin *et al.*, 1995; Nkem *et al.*, 2000; Gobin *et al.*, 2000; Clemens *et al.*, 2010)

IV. 2.7- CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS AFECTADAS POR LA EROSIÓN.

Las zonas con evidente degradación por erosión ocurrieron predominantemente en las posiciones con pendiente pronunciada correspondientes a los topes de colina, vertientes altas y medias, aunque en menor grado también se les encontró en las mesas. Localmente reciben la denominación de calveros (áreas desprovistas de vegetación), y corresponden al afloramiento de horizontes argílicos o del substrato geológico (horizonte C), clasificado según el Soil Taxonomy (2010) como *Typic Haplustults*.

El material en superficie es duro, en su mayoría similar a un pavimento, lo que indica que es compacto y restringe la penetración del agua y el desarrollo de las raíces. En general, los perfiles muestran colores en unidades Munsell rojos con matices entre

2.5YR y 5YR, valores de 4 a 6 y cromas de 6 a 8. La consistencia de los materiales en seco fluctúa entre dura y muy dura, friable en húmedo y entre adhesivo y plástico y muy adhesivo y muy plástico, en mojado. Presentan pocas o ninguna raíces y poca actividad biológica. La morfología del perfil de suelo puede apreciarse en la imagen 19 que muestra un perfil característico de las áreas erosionadas.

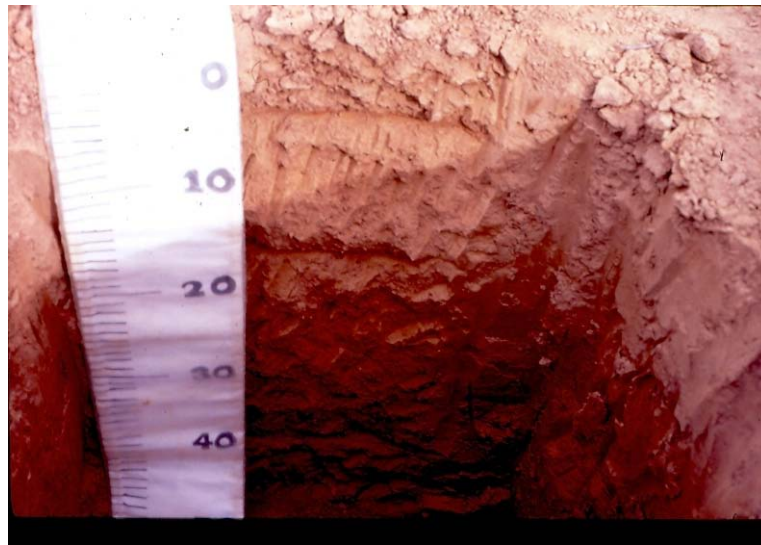


Imagen 19. Perfil de suelo característico de las áreas erosionadas.

Las características físicas y químicas de los 20 cm superficiales de los calveros se muestran en la tabla 28 correspondiente a los valores promedios de seis observaciones, separadas por posición geomorfológica. Desde el punto de vista químico son materiales ácidos, con baja conductividad eléctrica, carbono orgánico medio en las vertientes bajas y bajo en las altas, fósforo disponible bajo, medio en bases cambiables (sumatoria) y bajo en aluminio intercambiable.

Tabla 27. Características químicas y físicas de las capas superficiales de las áreas degradadas.

Variables	Vertientes medias	Vertientes altas
pH	5,40	5,50
CE (dS m ⁻¹)	0,39	0,13
CO (g kg ⁻¹)	11,40	7,30
P (B) (mg kg ⁻¹)	12,00	9,40
K ⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,48	0,30
Ca ⁺² (cmol (+) kg ⁻¹)	2,80	2,00
Mg ⁺² (cmol (+) kg ⁻¹)	3,60	4,40
Na ⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,87	0,47
H ⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,54	1,08
Al ⁺³ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,24	0,20
Acidez Int. (cmol (+) kg ⁻¹)	0,78	1,28
C.I.C (cmol (+) kg ⁻¹)	8,53	8,40
Texturas	F-FA	F-FA-FAa
Conductividad Hidráulica (cm h ⁻¹)	0,08	0,34
Da (Mg m ⁻³)	1,59	1,53
Poros totales %	62,50	63,46
Macroporos %	7,33	8,03
Agua 33 kPa (g kg ⁻¹)	162,00	262,00
Agua 1.000 kPa (g kg ⁻¹)	61,00	93,00
Ib (cm h ⁻¹)	0,16	0,19
Penetrabilidad (kPa)	2.695,00	2.331,00

En cuanto a las propiedades físicas destacan texturas entre franco-franco arcillosas- Franco arcillo arenosos, conductividad hidráulica muy lenta para la vertiente bajas, baja para las medias, densidad aparente alta (ISRIC, 1993), macroporosidad inferior al 10% que ocasiona problemas en el caso de agricultura de secano (Pla, 1983), retención de humedad entre 1/3 y 10 bares superiores al 10% lo que indica que no son limitantes (Pla, 1983), infiltración básica lenta y resistencia mecánica a la penetración muy alta, superior a 2.000 kPa, que tipifican al material de suelo como duro según la Sociedad Americana de Ingeniería Agrícola (ASAE, 1993).

IV.3. VEGETACIÓN, USO DE LA TIERRA.

Según los criterios establecidos en las tablas 4, las formaciones vegetales predominantes en orden de importancia fueron: los matorrales perennifolios, herbazales de porte bajo y arbustales aislados. Los restos de la vegetación original corresponden a árboles de gran altura, correspondiente a antiguos bosques tropófilos reportados en esta

zona (Lindorf *et al.*, 1985) y visualizables a través de las fotografías aéreas de 1960. Estos han sido fuertemente intervenidos por la extracción forestal y la conversión de bosques en áreas para pastoreo.

El uso de la tierra (tabla 5) es fundamentalmente a base del pastoreo semintensivo de especies forrajeras introducidas como: pasto alambre (*Brachiaria humidicola*), sabanero (*Andropogon garyanus*) y marandú (*Brachiaria brizantha*). Los sistemas de producción son en su mayoría con doble propósito y se caracterizan por un nivel tecnológico medio a bajo (Urdaneta *et al.*, 2004). Las imágenes 20 y 21, dan una visión general de las formaciones vegetales y el uso de la tierra

Mediante recorridos de campo y en el conjunto de las parcelas de observación, fueron identificadas un total 13 familias botánicas, correspondientes a 29 especies, las cuales se exponen en la tabla 29. La misma especifica, las familias, las especies, los tipos biológicos, según sean árboles, arbustos, trepadores, rastreras o palmares, y los nombres vernáculos manejados por los productores. Las especies de mayor abundancia resultaron ser los arbusto mastranto (*Hyptis mutabilis* (Rich.) Brig.) y tamarindillo (*Aeschynomene* sp.), y las gramíneas conocidas como limpia botella (*Setaria geniculata* (Lam.) Beau) y pajón (*Paspalum vaginatum*).



Imagen 20. Cobertura vegetal en el área. Vegetación secundaria (matorrales y arbustos) combinado con pastizales



Imagen 21. Relictos de la vegetación natural, arboles altos esparcidos en el área de pastizal formando pequeñas áreas boscosas

Tabla 28. Familias y especies vegetales identificadas en la catena de suelo.

Familia	Nombre Científico	Tipo Biológico	Nombre Común
Bignoniaceae	<i>Tabebuia</i> sp.	Árbol	Cañahuato
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i>	Árbol	Jobo
Annonaceae	<i>Xilopia aromatica</i> (Lam.) Mart	Árbol	Frutaburro
Bignoniaceae	<i>Tabebuia chrysea</i> Blake	Árbol	Penda
Bombacaceae	<i>Combretum fruticosum</i> (Loefl.) Stuntz.	Trepadora	Peinicillo o mielero
	<i>Ceiba pentandra</i>	Árbol	Ceiba majumba
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Árbol	Algarrobo
Caesalpiniaceae	<i>Copaifera venezuelana</i> Harms & Pittier	Árbol	Cabimas
	<i>Bauhinia megalandra</i> Griseb.	Arbusto	Patavaca
	<i>Cassia moschata</i>	Árbol	Caña fistolo
	<i>Aeschynomene</i> sp.		Tamarindillo
Combretaceae	<i>Terminalia amazónica</i>	Árbol	Amarillon
	<i>Setaria geniculata</i> (Lam.) Beau	Hierba	Limpia Botella
	<i>Paspalum vaginatum</i>	Hierba	Pajón
	<i>Brachiaria brizantha</i>	Hierba	Pasto Marandú
Gramineae	<i>Brachiaria humidicola</i> (Rendle)	Hierba	Pasto aguja o alambre
	Schweickerdt.		
	<i>Brachiaria reptans</i>	Hierba	Pasto tanner
	<i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl.) Beauv.	Hierba	Caña Brava
Leguminosae	<i>Pithecellobium tortum</i> Mart	Árbol	Crujidor
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Árbol	Chaparro manteco
Malvaceae	<i>Sida agregatta</i>	Arbusto	Tapaleche
	<i>Attalea</i> sp.	Estípita	Palma amarga
Palmae	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Ex	monocaula	
	Martius	multicaule	Curuba
	<i>Andira inermis</i> H.B.K.	Árbol	Peregueto
Papilionaceae	<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand	Árbol	Roble
	<i>Desmodium uncinatum</i>	Hierba	Pegapega
	<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	Árbol	Drago
Sterculiaceae	<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) Karst	Árbol	Camajón
Lamiaceae	<i>Hyptis mutabilis</i> (Rich.) Brig.	Hierba	Mastranto

La distribución espacial en función del paisaje y la posición geomorfológica, fue analizada mediante prueba de frecuencia y Chi cuadrado Mantle- Haenszel, las cuales demostraron que existe una asociación altamente significativa ($P < 0.001$) entre la posición geomorfológica y la distribución de las plantas, posiblemente vinculada a las condiciones del suelo relacionadas con la humedad y la fertilidad (Zueng *et al.*, 1997).

Los componentes arbóreos estuvieron típicamente asociados a las posiciones dentro del paisaje colinar, distribuidos en la mayoría de los casos a la largo de la pendiente. Algunos mostraron mucha asociación con determinadas posiciones geomorfológicas tal como se presenta en la tabla 30. Entre estos destacan para el tope de

colina el chaparro manteco (*Byrsonima crassifolia*) y el fruta de burro (*Xilopia aromatica* (Lam.) Mart); para la vertiente alta, el jobo (*Spondias mombin*) y el tapaleche (*Sida agregatta*); en la vertiente media el crujidor (*Pithecellobium tortum* Mart) y el camajón (*Sterculia apétala* (Jacq.) Karst); en la vertiente baja el drago (*Pterocarpus acapulcensis*) y la ceiba majumba (*Ceiba pentandra*); y para la mesa conservada el peregiueto (*Andira inermis* H.B.K.) y la curuba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Martius.).

Tabla 29. Especies vegetales con fuerte asociación a posición del paisaje.

Paisaje	Posición Geomorfológica	Especies		% Total de Observaciones
		N. Común	N. Científico	
Colinar	Tope Colina	Chaparro	<i>Byrsonima crassifolia</i>	100
		Fruta de burro	<i>Xilopia aromatica</i> (Lam.) Mart	70,37
		Cañahuat	<i>Nectandra sp.</i>	54,55
		Roble	<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand	50
		Cabima	<i>Copaifera venezuelana</i> Harms & Pittier	36,67
		Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	36,11
		Jobo	<i>Spondias mombin</i>	58,82
	Vertiente Alta	Tapaleche	<i>Sida agregatta</i>	47,17
		Mastranto	<i>Hyptis mutabilis</i> (Rich.) Brig.	44,94
		Penda	<i>Tabebuia chrysea</i> Blake	36,67
		Patavaca	<i>Bauhinia megalandra</i> Griseb	35,29
		Crujidor	<i>Pithecellobium tortum</i> Mart	66,67
	Vertiente Media	Camajón	<i>Sterculia apétala</i> (Jacq.) Karst	42,86
		Cañafistolo	<i>Cassia moschata</i>	48
		Amarillon	<i>Terminalia amazónica</i>	33,33
		Drago	<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	66,67
	Vertiente Baja	CeibaMajumba	<i>Ceiba pentandra</i>	66,67
		Palma amarga	<i>Attalea sp.</i>	50
		Peinicillo	<i>Combretum fruticosum</i> (Loefl.) Stuntz.	47,62
		Peregueto	<i>Andira inermis</i> H.B.K.	75
	Mesa Conservada	Palma Curuba	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Ex Martius	50
Valle	Fondo de Valle	Tamarindillo	<i>Aeschynomene sp.</i>	100
		Limpia Botella	<i>Setaria geniculata</i> (Lam.) Beau	100
		Pajón	<i>Paspalum vaginatum</i>	100
		Taner	<i>Brachiaria reptans</i>	100

Los arbustos y gramíneas dominaron las áreas bajas y mal drenadas, representadas por el valle intracolinar, en las cuales se observó el mayor número de individuos a lo largo de la catena. Pero al mismo tiempo presentó la menor diversidad biológica (Ibañez *et al.*, 1995), al estar ocupado tan solo por las familias botánicas gramínea y leguminosae, y cuatro especies: limpia botella (*Setaria geniculata* (Lam.) Beau), pajón (*Paspalum vaginatum*), tamarindillo (*Aeschynomene sp.*) y taner

(*Brachiaria reptans*) adaptadas a las condiciones de saturación hídrica en dicha posición.

Con base a la alta asociación que mostraron algunos componentes de la vegetación con ciertas posiciones del paisaje, verificado a través del análisis de frecuencia; y considerando el conocimiento local de los agricultores que les asocian con determinadas condiciones de suelo y ubicación en el paisaje, se construyó un listado de plantas indicadoras. Esta se basa en la vinculación entre la vegetación y el geomanto en el cual evoluciona, creando un microclima para su desarrollo, a través de los residuos (Boettcher *et al.*, 1990) y en la influencia que el suelo y la topografía ejercen en la distribución de las especies (Zueng *et al.*, 1997). Ocho de las especies observadas a lo largo de la catena, fueron seleccionados como indicadores vegetales, tal como se detalla en la tabla 31, estos mostraron relación con características texturales del suelo, suplencia de humedad y condición de drenaje.

Las imágenes 20 a la 25 ilustran algunos de los componentes de la vegetación de la zona considerados de importancia económica por su valor para uso forestal o artesanal.

Tabla 30. Indicadores vegetacionales identificados en el área de estudio.

Nombre Común	Familia	Especie	Condiciones de suelos asociadas
Chaparro	Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Suelos esqueléticos muy pobres,
Fruta de Burro	Anonáceae	<i>Xilopia aromática (Lam.) Mart</i>	
Palma coruba	Palmae	<i>Acrocomia aculata</i> (Jacq.) Lodd. Ex Martius	Humedad permanente
Peregueto	Papilionaceae	<i>Andira inermis</i> H. B. K.	
Pajón	Gramínea	<i>Paspalum vaginatum</i> s. w.	Suelos mal drenados, saturados
Limpia botella	Gramínea	<i>Setaria geniculata</i> (Lam) Beau	
Paja arroz	Gramínea	<i>Paspalum</i> sp.	
Tamarindillo	Leguminosae	<i>Aeschynomene</i> sp.	



Imagen 22. Cabima (*Copaifera venezuelana*) especie de importancia forestal.



Imagen 23 Bosquete de penda (*Tabebuia chyseae*) especie de importancia económica para la elaboración de estantillos.



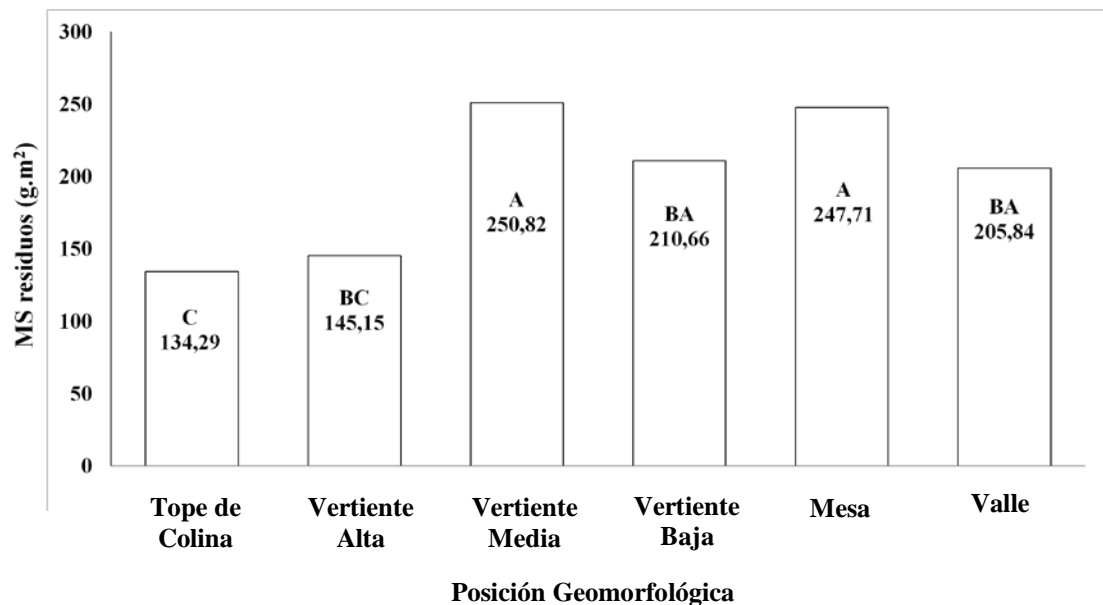
Imagen 24. Arbol de peregueto (*Anidira inermis*) indicativo de humedad en el suelo por mas de 9 meses.



Imagen 25. Palma Curuba (*Acrocomia aculeata*) indicativo de humedad por más de 9 meses..

IV.3.1 MATERIA SECA DEL RESIDUO VEGETAL

El análisis de varianza practicado a los datos de materia seca al final de la estación con menor precipitación, demostró que los mismos presentaron diferencias estadísticas significativas entre posiciones geomorfológicas. Tales diferencias pueden visualizarse en la figura 9, que expone los resultados de la separación de medias mediante la prueba de Tukey.



Barras con letras distintas difieren significativamente ($p < 0,005$)

Figura 9. Valores promedios de residuos vegetales por posición geomorfológica.

El peso seco de residuos al final de periodo de sequía, época en la que se manifiesta la máxima presión de pastoreo de todo los lotes al o largo de la catena, resultó significativamente menor en los topes de colina con un promedio 134,9 g.m² seguidos por la vertiente alta, vertiente baja y el valle con 145,15; 210,66 y 205,84 g.m² respectivamente, los promedios más altos fueron encontrados en las vertientes medias y la mesa con 250,82 y 247,71 g.m² para cada uno.

Estos resultados pudieran ser reflejos del nivel de manejo de los lotes en cuanto al control de malas hierbas y presión de pastoreo, que suelen variar de un propietario a otro, del tipo de forrajera empleada y de la palatabilidad de los componentes vegetales

para los animales. De igual manera está influenciada por las condiciones edáficas en cada posición del paisaje, consideración que puede apoyarse con la prueba de correlación presentada en la tabla 32. Aunque los resultados de la misma no impliquen una relación directa causa efecto, la materia seca estuvo significativa y negativamente asociada con la proporción de esqueleto grueso, arena muy gruesa y el valor de aluminio intercambiable y positivamente correlacionada con la profundidad efectiva y el pH. En parte esto apoya la existencia de diferencias entre el tope de colina-loma y el resto de las posiciones en razón de las condiciones edáficas más adversas que esta presenta.

Tabla 31. Variables edáficas con correlación significativa con el peso seco de residuos vegetales.

Variables	Coeficiente de correlación	Pr > r
Profundidad efectiva	0,28	0,03*
% Esqueleto grueso	-0,39	0,002**
% Arena muy gruesa	-0,28	0,02*
pH	0,37	0,0036**
Al intercambiable	-0,27	0,0036*

*significativo, **altamente significativo

El bajo peso seco observado para los residuos vegetales, obviamente indica sobrepastoreo y constituye un factor de predisposición para la activación de procesos erosivos al inicio de las lluvias por el impacto directo sobre el suelo, en combinación con la pendiente. El impacto del componente animal a través del pisoteo ha sido vinculado con la degradación del suelo y la vegetación en áreas con pendiente pronunciada (Blanco *et al.* 2011) lo que permite explicar los cambios desfavorables observados en el área sobre la calidad de los suelos

IV.4. VALORACIÓN DE LOS SUELOS, ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD Y PRINCIPALES LIMITACIONES.

El procedimiento de valoración de la productividad de los suelos parte del reconocimiento de las funciones del mismo en los ecosistemas y la selección de los indicadores relevantes para la misma. Dado que la producción de biomasa es determinante para la agricultura, los modelos de índice de productividad se centran en

características físicas y químicas con influencia en el crecimiento vegetal, en condiciones actuales y potenciales. Para la valoración de los suelos en la zona de estudio se ha partido de las restricciones edafoclimáticas identificadas mediante la caracterización de la cobertura de suelos para cada posición geomorfológica resumidas en la tabla 33.

Los resultados de la aplicación del modelo de productividad de Riquier *et al.* (1970), se presentan en la tabla 34, detallando la valoración parcial para cada factor considerado y el valor final de índice de productividad (IP) y la clasificación según nivel de productividad para cada posición del terreno. Según éstos, la posición geomorfológica tope de colinas-lomas, presentó un valor de productividad muy bajo (3,21%), determinado por las fuertes limitaciones físicas asociadas a la baja profundidad efectiva y la alta proporción de fragmentos gruesos; y químicas determinadas por la acidez, la baja saturación con bases y el predominio de arcillas de muy baja actividad, que se traducen en baja fertilidad natural y potencial.

Las posiciones de mesas conservadas y las vertientes de mesa alta, media y baja, presentaron índices de productividad menores de 8% (6,43-6,80-6,80 y 5,78% respectivamente) debido a restricciones físicas, por la baja retención de humedad, asociadas a texturas predominantemente arenosas; y químicas por la baja saturación de bases, la acidez y el predominio de las arcillas de baja actividad.

En el paisaje de valle, para la posición de valle intracolinar, el índice de productividad de 1,23 debido a las limitaciones asociados al terreno, muy baja profundidad efectiva y microrelieve de tatucos, determinados por las condiciones de saturación permanente del suelo, al ocupar las posiciones más bajas del terreno con condiciones de régimen de humedad Peraquic, con restricciones adicionales por fertilidad natural y potencial extremadamente baja, al presentar baja saturación básica, acidez y arcillas de baja actividad. Otro aspecto que merece destacar es el alto grado de endorreísmo en esta posición, determinado por la forma del terreno y la disposición de estos valles encajados entre colinas dificultan el drenaje.

Tabla 32. Resumen de la clasificación de los suelos y los factores limitantes por posición geomorfológica

Posición Geomorfológica	Clasificación taxonómica	Limitaciones dectadas
Tope de Coilna-Loma	<i>Typic Haplustults</i> arcillas Esquelético/fragmentario caolinitica, isohipertérmica	Físicas: baja profundidad efectiva, fragmentos gruesos. Químicas: baja materia orgánica, baja saturación básica, baja CIC, suelo ácido, Terreno: Pendiente 8-16%.
Vertiente Alta	<i>Typic Haplustults</i> francoso grueso/arenoso caolinitica, isohipertérmica	Físicas: arenoso, baja retención de humedad, susceptibilidad a la erosión. Químicas: baja materia orgánica, baja CIC, baja saturación básica, acidez. Terreno: Pendientes 8-16%.
Vertiente Media	<i>Typic Haplustults</i> francoso grueso/arenoso caolinitica, isohipertérmica	Físicas: arenoso, baja retención de humedad, susceptibilidad a la erosión. Químico: baja materia orgánica, baja CIC, baja saturación básica, acidez Terreno: Pendientes 3-8%.
Vertiente Baja	<i>Typic Paleustults</i> francoso Grueso, caolinitica, isohipertérmica.	Físicas: arenoso, baja retención de humedad, susceptibilidad a la erosión. Químico: baja materia orgánica, baja CIC, baja saturación básica, acidez. Terreno: Pendientes 1-3%.
Mesa Conservada	<i>Grossarenic Haplustults</i> Caolinitica, isohipertérmica	Físicas: arenoso, baja retención de humedad, susceptibilidad a la erosión. Químico: baja materia orgánica, baja CIC, baja saturación básica, acidez. Terreno: Pendientes 1-3%.
Valle	<i>Typic Endoaquults</i> Francosa fina caolinitica, isohipertérmica.	Físicas: suelo mal drenado, saturado todo el año, baja profundidad efectiva. Químico: baja materia orgánica, baja CIC, baja saturación básica, acidez Terreno: Pendientes < 2%, cóncavo

Tabla 33. Valoración de la productividad del suelo por Posición geomorfológica

Posición geomorfológica	Factor de Productividad	Características del Suelo-Terreno	Valor Parcial	Ip Clasificación N-P
Tope de colina-loma	Régimen Hídrico	Seco entre 3 y 4 meses	100	3,21% muy baja productividad
	Drenaje	Nivel freático > 120	100	
	Prof. Efectiva	Ladera 21cm	20	
	Textura	Esqueleto grueso 31,10 %	60	
	Saturación básica	25,9 %	50	
	Salinidad-Sodicidad	< 4 dS.m ⁻¹	100	
	Materia orgánica	0,95%	70	
	Minerales meteorizables	Bajos < 20 % L	85	
	Tipo de arcilla	Caolínita-sequioxido CIC<20cmol.Kg ⁻¹	90	
Cima de Mesa	Régimen Hídrico	Seco entre 3 y 4 meses	100	6,43% muy baja productividad
	Drenaje	Nivel freático < 120	100	
	Prof. Efectiva	180 cm	100	
	Textura	Arena gruesa > 70%a	30	
	Saturación básica	< 15 %	40	
	Salinidad-Sodicidad	< 4 dS.m ⁻¹	100	
	Materia orgánica	0,33	70	
	Minerales meteorizables	Bajos < 20 % L	85	
	Tipo de arcilla	Caolínita-sequioxido CIC <10cmol.kg ⁻¹	90	
Vertiente Alta	Régimen Hídrico	Seco entre 3 y 4 meses	100	6,80% moderada productividad
	Drenaje	Algo excesivo	100	
	Prof. Efectiva	130 cm	100	
	Textura	>70% a-arena gruesa	30	
	Saturación básica	< 15 %	40	
	Salinida-Sodicidad	< 4 dS.m ⁻¹	100	
	Materia orgánica	0,65	70	
	Minerales meteorizables	Medios 21 % L	90	
	Tipo de arcilla	Caolínita-sequioxido CIC < 20 cmol kg ⁻¹	90	

Cont. Tabla 34. Valoración de la productividad del suelo por Posición geomorfológica.

Posición geomorfológica	Factor de Productividad	Características del Suelo-Terreno	Valor Parcial	Ip Clasificación NP
Vertiente Media	Régimen Hídrico	Seco entre 3 y 4 meses	100	6,80% muy baja productividad
	Drenaje	Bien drenado	100	
	Prof. Efectiva	145 cm	100	
	Textura	Franco arenosa > 46 % a	30	
	Saturación básica	< 15 %	40	
	Salinidad-Sodicidad	< 4 dS.m ⁻¹	100	
	Materia orgánica	0,74	70	
	Minerales meteorizables	Medio 22 % L	90	
	Tipo de arcilla	Caolinita-sequioxido CIC < 20 cmol ⁻¹	90	
	Régimen Hídrico	Seco entre 3 y 4 meses	100	
Vertiente baja	Drenaje	Nivel freático 120 cm	90	5,78% Muy baja productividad
	Prof. Efectiva	Terreno llano 125 cm	100	
	Textura	Franco arenosa	30	
	Saturación básica	< 15 %	40	
	Salinidad-Sodicidad	< 4 dS.m ⁻¹	100	
	Materia orgánica	0,28 %	70	
	Minerales meteorizables	< 20 % L	85	
	Tipo de arcilla	Caolinita-sequioxido CIC < 120 cmol ⁻¹	90	
	Régimen Hídrico	Saturado	NO	
	Drenaje	Nivel freático <30cm	40	
Valle intracolinar	Prof. Efectiva	Terreno llano 47cm	20	1,23 muy baja productividad
	Textura	Franco arenosos <45% arena	90	
	Saturación básica	< 15 %	30	
	Salinidad-Sodicidad	< 4 dS.m ⁻¹	100	
	Materia orgánica	0,21 %	70	
	Minerales meteorizables	26 % L	90	
	Tipo de arcilla	Caolinita-sequioxido CIC < 20 cmol ⁻¹	90	

IV.4.1 ESTRATEGIAS PARA LA SOSTENIBILIDAD. PRACTICAS DE MANEJO.

La asignación de un tipo de utilización para cada unidad de mapeo o posición del paisaje acorde a sus limitaciones y su productividad es necesaria para la prevención o atenuación de efectos adversos de las actividades productivas. Los IP actuales encontrados en la zona indican fuertes limitaciones para el uso agrícola y explican el grado de afectación por erosión observado en campo y fotos aéreas, e indican la superación de la capacidad de soporte de los recursos. Por ello las posiciones de tope de colinas-.lomas son consideradas como no deseable para la ocupación agrícola y con requerimientos de prácticas especiales de manejo para la recuperación. Las mesas y vertientes en condiciones actuales resultan recomendables para sistemas pastoriles y agrosilvopastoriles, con plantas adaptadas y los valles dada las restricciones de drenaje quedan limitados a plantas adaptadas, nativas o introducidas con fines de pastoreo en la estación seca.

Las restricciones a la productividad del suelo identificadas a través de la valoración son principalmente de tipo permanente, vinculados a la profundidad efectiva, granulometría, textura y características del terreno. Los factores asociados con la fertilidad, resultan los de mayor factibilidad de mejoramiento a través de una transformación agronómica; con el incremento de la saturación básica mediante enmienda caliza y del carbono orgánico a través de la estercoladura. Adicionalmente, podría considerarse la corrección de la deficiencia bioclimática con la implementación de riego adicional (De la Rosa, 2008).

Dado que la acidez y los problemas asociados, como la toxicidad por Aluminio y la baja relación de bases cambiables, son determinantes para el mejoramiento de la productividad; se elaboraron curvas de determinación de requerimientos de carbonato de calcio para las posiciones geomorfológicas del paisaje consideradas de mayor relevancia por su importancia agrícola, para la mejora de los sistemas de ganadería, o por la necesidad de recuperación ambiental. Estas se muestran en las figuras 15-18 y expresan los requerimientos de CaCO_3 para lograr un cambio de un pH destino deseado.

Al analizar las tendencias en dichas curvas destaca la existencia de ámbitos en los que hay mayor resistencia al desplazamiento del pH y por lo tanto se requieren cantidades mayores de CaCO_3 , en comparación con otros en los cuales cantidades menores promueven desplazamientos mayores en el valor de pH. Esto, a valores bajos de pH, es atribuido a la liberación de los monómeros de hidroxialuminio adsorbidos a los sitios de intercambio en las arcillas, con lo cual pueden adsorber Ca^{+2} y Mg^{+2} , aumentando la cantidad necesaria de una enmienda para lograr un cambio en el pH del suelo (Brady *et al.*, 2002).

Otro aspecto que destaca en las curvas, es la variación en la capacidad amortiguadora en las diferentes posiciones analizadas, las cuales parecen atribuibles a diferencias en la textura. La comparación de los topes de colina-loma y las áreas afectadas por erosión, con las mesas conservadas y las vertientes, dejan ver diferencias importantes en la capacidad amortiguadora y en los requerimientos de enmiendas. Estas diferencias para los suelos del área de estudio han sido atribuidas a diferencias en la proporción de arcilla en la fracción tierra fina (Bárcenas, 2010) y se explican por el incremento en la capacidad tampón de los suelos con el aumento de la fracción arcillosa, la CIC y la saturación con Aluminio, dependiendo del tipo de arcilla presente (Havlin *et al.*, 1999).

Estas curvas permitirían a través de su ecuación o por vía gráfica, determinar la cantidad de una enmienda necesaria para elevar el pH a un rango que permita mejorar la productividad del suelo o al nivel necesario para crear condiciones más favorables al desarrollo de la vegetación o de nuevas plantas cultivadas que se incorporen a los sistemas de producción. Los requerimientos pudieran ser calculados para enmienda caliza o enmienda orgánica, si se conoce el equivalente de carbonato de calcio-

A manera de ejemplo se presenta en la tabla 35 los requerimientos de enmiendas caliza y orgánica para casos seleccionados de suelos en las posiciones geomorfológicas tope de colina-loma, vertiente alta, mesa conservada y para las vertientes degradadas, según las curvas de requerimiento de las figuras 10-13. Los materiales empleados como

referencia para la zona, fueron caliza la gotica con un equivalente de carbonato de calcio de 95% y compost de estiércol bovino con 12% (Jiménez, 2007).

Los cálculos han sido realizados considerando un pH destino de 6. Destacan el incremento de las cantidades de ambas fuentes de enmiendas requeridas por las areas ed tope de colina-loma y las afectadas por erosión para el logro del mismo pH, en comparación con las de vertiente alta y media; producto de las diferencias en su capacidad amortiguadora. Adicionalmente, el uso de los residuos orgánicos disponibles requiere la movilización de grandes volúmenes del compost, por su bajo nivel de carbonato de calcio equivalente, al ser comparados con otras enmiendas orgánicas (Bárcenas, 2010). Lo que lógicamente dificulta las labores de aplicación e incrementa los costes de operación.

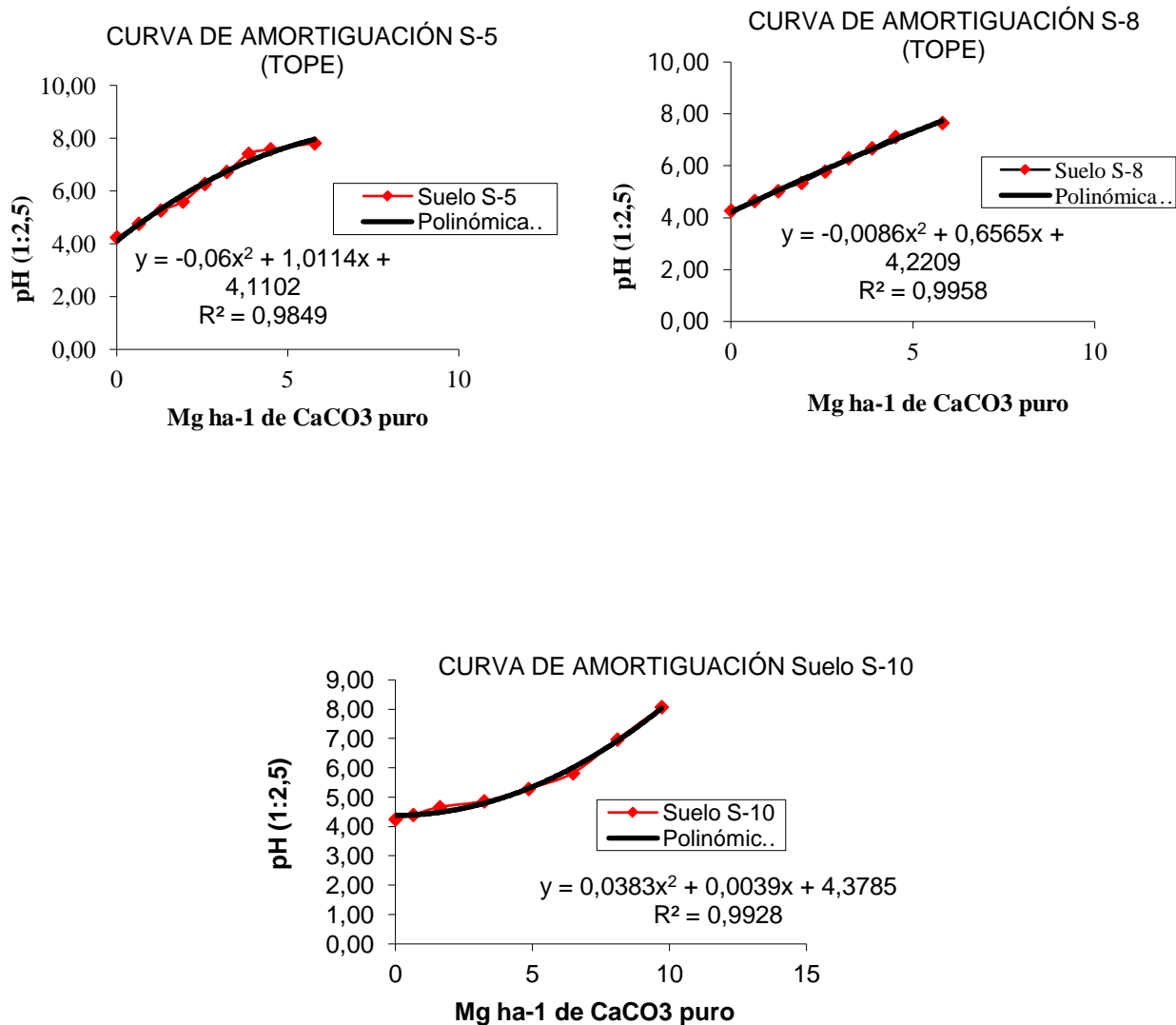


Figura 10. Curva de requerimiento de enmienda para los suelos en posición de topes de colina.

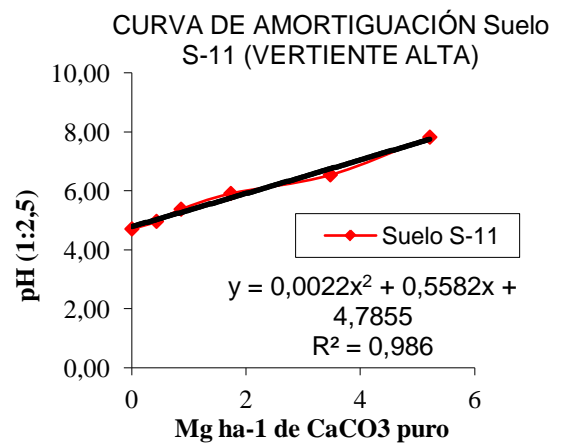
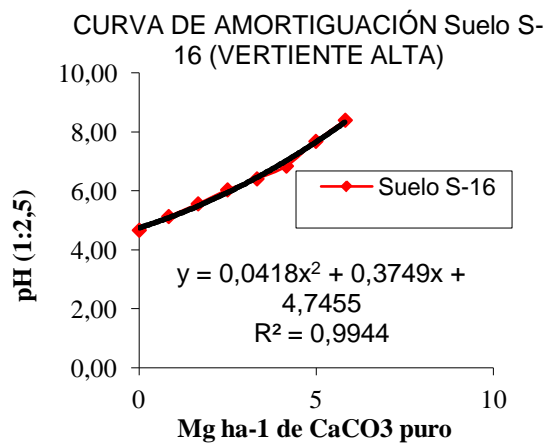
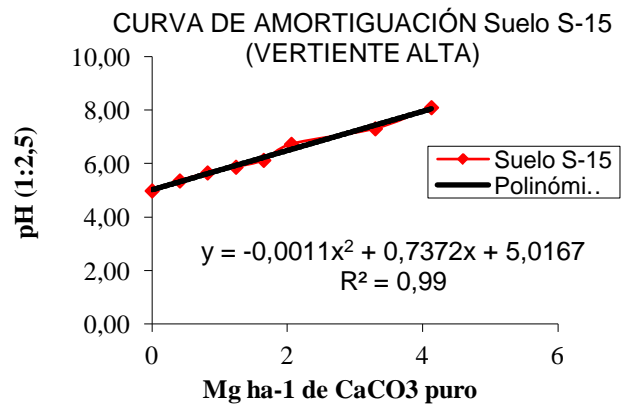
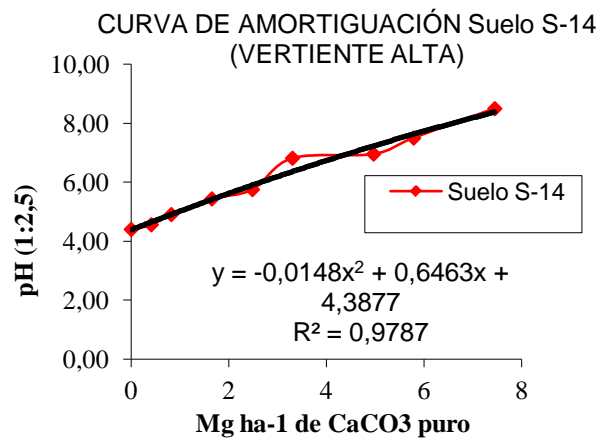


Figura 11. Curva de requerimiento de enmienda para los suelos en posición de vertiente alta.

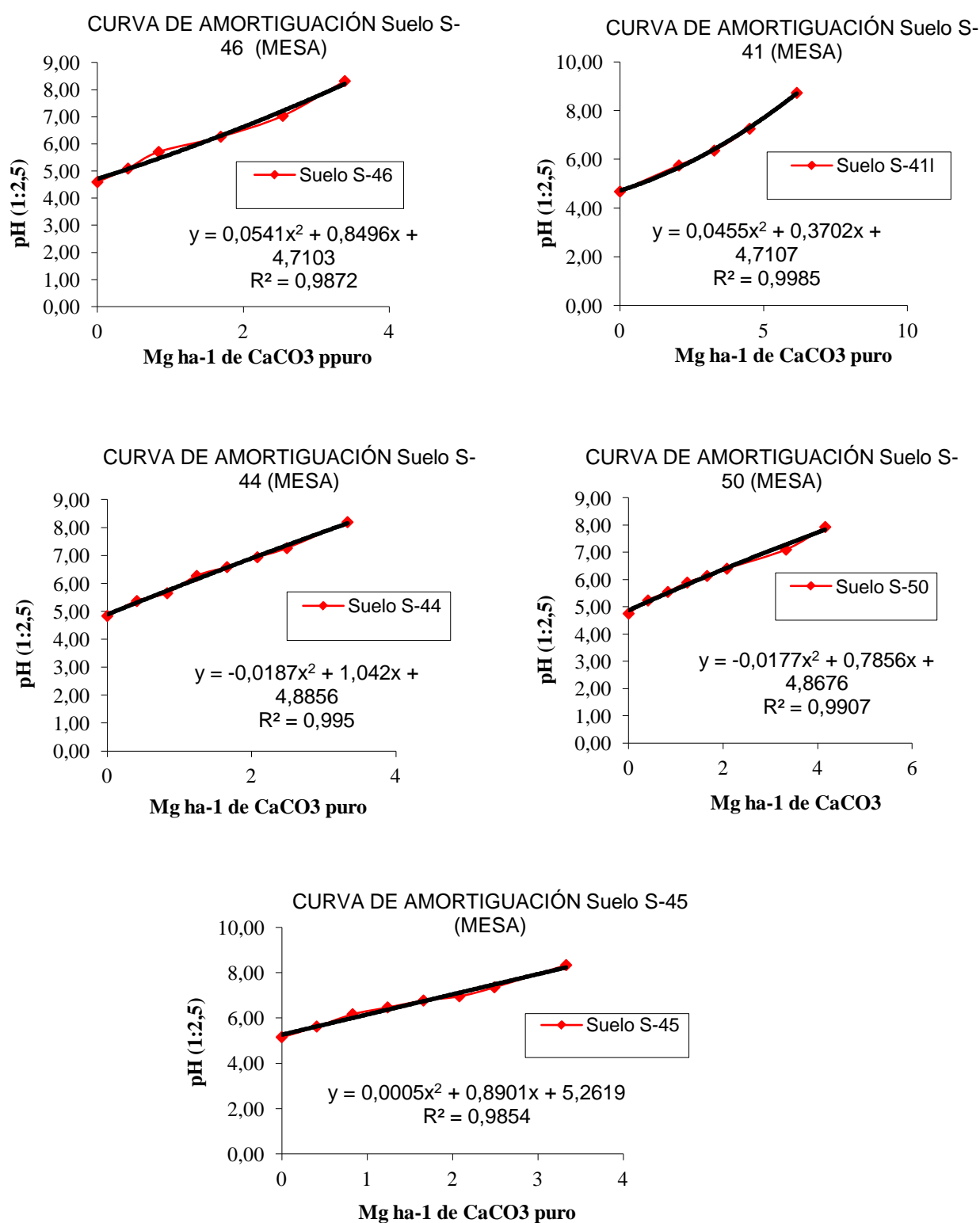


Figura 12. Curva de requerimiento de enmienda para los suelos en posición de mesa.

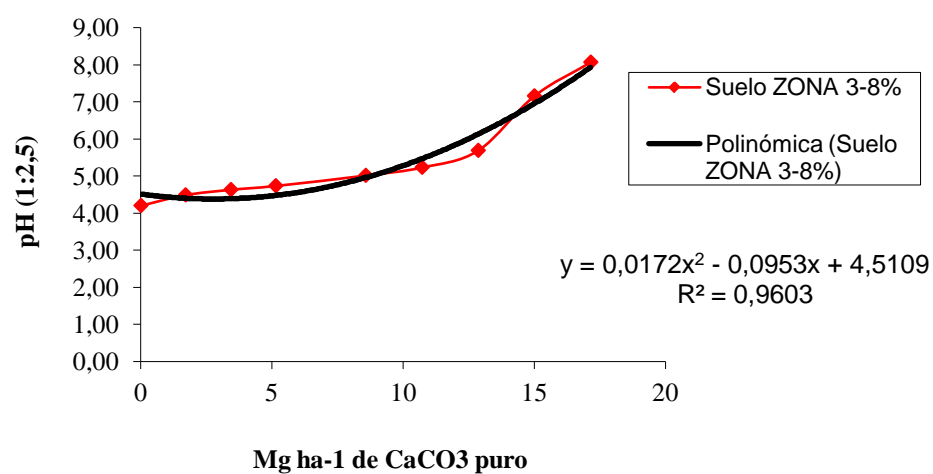
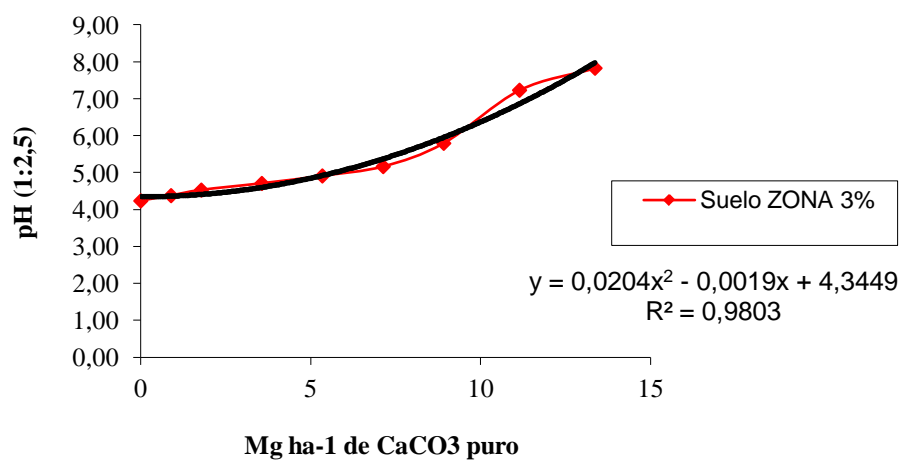


Figura 13. Curva de requerimiento de enmienda para los suelos en áreas afectadas por erosión.

Tabla 34. Requerimiento de enmienda para las diferentes posiciones geomorfológicas.

Posición Geomorfológica	Ecuación	pH destino	Mg ha ⁻¹ CaCO ₃ puro	Mg ha ⁻¹ Caliza la gotica	Mg ha ⁻¹ Compost de Estiercol
Tope de Colina(S4)	$y=0,06x^2+1,0114x+4,1102$	6	1,65	1,74	13,75
Vertiente Alta (S14)	$y=0,0148x^2+0,6463x+4,3877$	6	2,64	2,78	22,0
Mesa (S44)	$y=0,0187x^2+1,042x+4,8856$	6	1,051	1,11	8,76
Vertiente Degradada (3%)	$y=0,0204x^2-0,0019x+4,3449$	6	9,02	9,50	75,66
Vertiente Degradada (3-8%)	$y=0,0172x^2-0,0953x+4,5109$	6	12,48	13,136	104,00

La restauración de la materia orgánica mediante la aplicación de compost de estiércol bovino ha sido una práctica relacionada con el mejoramiento de la productividad del suelo (Jiménez *et al.*, 2004a) al mejorar las condiciones físicas como retención de humedad, densidad aparente y porosidad (Jiménez *et al.*, 1999 a,b), químicas como aumento de la CIC y la saturación básica (Jiménez *et al.*, 2004b) y biológicas al favorecer la actividad de mesoorganismos (Bracho *et al.*, 1999). Pese a su implementación, los efectos sobre los niveles de carbono orgánico son considerados poco significativos por la alta tasa de mineralización, determinada por las altas temperaturas y humedad (Wallace, 1994)

Las restricciones de suelo y terreno identificadas en el área de estudio y los fenómenos de deterioro de los recursos suelo y vegetación, permiten afirmar que las prácticas de uso y manejo actuales han causado cambios desfavorables en el balance natural del paisaje debido a la superación de la capacidad de soporte. Esta situación requiere la reorientación del uso actual de la tierra; para lo cual basado en los criterios esbozados por Bastian *et al.* (1998), se han propuesto formas alternativas de utilización de la tierra presentadas en la tabla 36. Estas pretenden ajustarse al nivel de productividad potencial de los suelos determinado mediante el mejoramiento de la saturación básica, elevándolo entre 35 y 50%. Esta medida mejorará el desempeño de las plantas forrajeras empleadas actualmente (Jiménez *et al.*, 2005) y abre la posibilidad

a la inclusión de forrajeras de mayor calidad y rendimiento (Faría *et al.*, 2007). Las posiciones de tope de colina-loma, no han sido consideradas en el cambio de la productividad potencial dada sus fuertes limitaciones físicas, por lo que se recomienda su uso como áreas de protección.

Tabla 35. Tipo de ocupación recomendable para las diferentes posiciones geomorfológicas, ajustadas al IP potencial.

PAISAJE	POSICIÓN GEOMORFOLÓGICA	IP POTENCIAL %	TIPO DE OCUPACIÓN RECOMENDADA
Colinar	Tope colina	3,21	Forestal, bosque protectores
	Mesa	10,71	Silvopastoril, pastos y plantas adaptadas.
	Vertiente alta	10,21	
	Vertiente media	10,21	
	Vertiente baja	8,68	Pastoril con pastos adaptados, cultivos especiales.
Valle	Valle intracolinar	2,4	Pastoril con pastos adaptados.

Los cambios propuestos se dirigen al fortalecimiento y/o recuperación de las funciones naturales del paisaje (Borut *et al.*, 2008; Bastian *et al.*, 1998), relacionadas con:

1. Producción biótica: para aumentar la generación de biomasa a través de la fotosíntesis, mejorando las condiciones del suelo. Con esto se plantea aumentar la capacidad de sustentación de las fincas de doble propósito ubicada actualmente en 0,71 UA ha⁻¹ (Silva *et al.*, 2010) a 1,5 UA ha⁻¹ el cual es considerado el indicador de las mejores fincas en la zona. Este planteamiento, fue acompañado con la selección de plantas adaptadas al medio, la incorporación de medidas de transformación agronómica para mejorar el desempeño de los cultivos y la capacidad de sustentación de los pastos. Adicionalmente se planteó la implementación de pastos de corte (*Penisetum purpureum*), cuyo desempeño con enmienda del suelo, riego y fertilización, permitiría la producción de entre 20 y 60 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de materia seca (Faría *et al.*, 2007)

2. Recuperación del hábitat: mediante la revegetación de los topes de colina-loma con plantas nativas, para la recuperación de los biotipos. Esta medida es acompañada con la suspensión del control de malas hierbas en estos sectores segregados como marginales, incorporación de enmiendas y barreras vivas, para promover la regeneración de la vegetación y la inclusión de especies forestales para la formación de bosques protectores.

3. Aumento de la resistencia del suelo a la erosión y mejoramiento del balance entre escorrentía e infiltración, a través del aumento de la cobertura vegetal, la revegetación y el ajuste de las presiones de pastoreo acorde con la capacidad de sustentación de los lotes (Blanco *et al.*, 2011).

Las experiencias generadas a partir del programa de suelos ácidos de la Machiques Colón, han determinado en buena medida los tipos de utilización de las tierras actuales, basados fundamentalmente en el pastoreo semiintensivo de especies forrajeras adaptadas, entre las cuales *Brachiaria brizantha* y *Brachiaria humidicola* son las más comúnmente empleadas en sistemas con bajos insumos (Noguera *et al.*, 1994). Sin embargo, la proposición de sistemas agroforestales, después de mejorar la condición de suelo, conlleva a la diversificación de cultivos. Para ello se efectuó una evaluación de la aptitud agroecológica según los criterios establecidos por la FAO (1983) para los cultivos de Onoto (*Bixa orellana*), yuca (*Manihot sculenta*) y merey (*Anacardium occidentale*).

Estos rubros agrícolas han sido considerados como potenciales por su tradición en la zona como cultivos de subsistencia, y la posibilidad de combinarse con los sistemas de ganadería en secuencia de cultivos o en la misma superficie. La tabla 37 presenta el grado de aptitud determinado mediante la armonización entre las características edafoclimáticas de la zona y las exigencias de los cultivos actuales y los propuestos (Sys *et al.*, 1997).

Tabla 36. Resumen del grado de aptitud para los tipos de utilización de la tierra actuales y potenciales.

Paisaje	Posición	Cultivo	Aptitud	Factores Limitantes
Colinar	Cima de colina	Merey	N2	Prof. Efectiva Esq. Grueso Pendiente
		Yuca		
		B. brizanta		
		B. humidícola		
	Tope de mesa	Merey	A2	Textura Fertilidad
		Yuca		
	Vertiente alta	Onoto		
	Vertiente media	B. brizantha		
		B. humidícola		
	Vertiente baja	Merey	A3	Fertilidad Textura Drenaje
		Yuca		
		Onoto		
		B. brizanta		
Valle	Fondo de valle	B. humidícola	N2	Terreno no drenable
		B. radicans		
			A2	Drenaje restringido

N2 no apto permanentemente. A2 medianamente apto. A3 marginalmente apto.

Según los resultados para el paisaje colinar las posiciones de tope de colina-loma, resultan no aptas para ninguna de las opciones de cultivos y por ello deben ser destinadas al uso de bosques protectores. Las posiciones cima de mesa y vertientes resultaron entre aptos y marginalmente aptas para los cultivos analizados; mientras que para el paisaje de valle, la posición fondo de valle resultó no apto permanentemente para merey, yuca y *Brachiaria brizanta* y moderadamente apta para *Brachiaria humidicola* y *Brachiaria radicans* debido a un drenaje muy restringido.

Las propuestas de manejo para el área en cuanto a la reforestación ayudada con la implementación de barreras vivas con vetiver (*Vetiveria zizanioides*), la incorporación de residuos orgánico, árboles pioneros, cese del sobrepastoreo, de riego adicional y pastos de corte han sido implementadas a nivel de fincas pilotos y se muestran en las imágenes 26-29. El monitoreo de los efectos de estas prácticas sobre el suelo, así como la evaluación en términos de la productividad y la diversidad vegetal son tema de próximas investigaciones.



Imagen 26. Barreras vivas de pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides*) en el área de topes de colinas-lomas fuertemente erosionadas después de 5 años.



Imagen 27. Experiencia en regeneración de vegetación por sucesión vegetal después de 5 años.



Imagen 28. Experiencias en la implementación de pastos de cortes con riego adicional para el aumento de la capacidad de sustentación animal.



Imagen 29. Experiencias en la diversificación de cultivos. a) Mery (*Anacardium occidentale*) asociado en las áreas de pastoreo y b) Yuca (*Manihot esculenta*) cultivado en las vertientes bajas.

V. CONCLUSIONES

V. CONCLUSIONES

1. Para el área de estudio se identificaron como unidades geomorfológicas representativas los paisajes colinar y valle, los cuales constituyen una sucesión de relieves desde una cota máxima de 115 hasta 50 m.s.n.m, en un patrón extrapolable a toda el área de la cuenca.
2. Para la toposecuencia se identificaron seis posiciones geomorfológicas y cuatro formas del terreno observables a nivel de campo.
3. Las condiciones climáticas, el material parental y el relieve constituyen los factores formadores de suelos determinantes para el área de estudio, cuyos efectos se aprecian en la morfología de los perfiles, texturas predominantemente arenosas, condiciones de suelos saturados y la avanzada edafogénesis.
4. La sucesión de relieves determina una catena de suelo caracterizada por el arrastre de materiales de las posiciones más altas a las más bajas, en un proceso combinado coluvio-aluvial y la formación de condiciones de alto hidrimorfismo en las posiciones bajas.
5. Los procesos formadores del suelo más notorios resultaron ser: la remoción en la posiciones de tope, mesa y vertientes expresada por la intensa desaturación de los suelos, los cuales en algunos casos llegan a la ausencia de cationes monovalentes y predominio de la acidez en el complejo de cambio; y el proceso de gleyzación en la posición de valle intracolinar determinado fundamentalmente por el relieve.
6. La vegetación original del área ha sido fuertemente impactada por las actividades agropecuarias, que han implicado la conversión de bosque en áreas de pastoreo a base de gramíneas introducidas y sectores con vegetación secundarias representados por arbustales y matorrales aislados.
7. La valoración de la productividad de los suelos a través del modelo paramétrico permitió identificar condiciones muy desfavorables para el desarrollo de actividades agrícolas en las posiciones de tope de colina, cima de mesa, vertiente

alta y media de igual manera fondo de valle y condiciones de baja productividad pero con posibilidades para cultivos adaptados a la vertiente baja, cuyo uso requiere de prácticas especiales de manejo.

8. Los bajos niveles de productividad, el alto impacto de actividades humanas sobre la vegetación y el suelo; así como los fenómenos de degradación activa señalaron la necesidad de promover cambios en el uso de la tierra. Para lo cual se generaron propuestas dirigida a la reorientación del uso actual a través de la incorporación de sistemas combinados silvopastoriles y agrosilvopastoriles a través de la incorporación de árboles o la regeneración de la vegetación natural en las áreas de pastoreo y la formación de bosques protectores, basados en las limitaciones de suelos y terrenos.
9. El modelo edafogeomorfológico generado resultó ser una herramienta útil para sistematizar a nivel local la recopilación de la información necesaria para la planificación física del aprovechamiento de la tierra, así como la identificación de necesidades de prácticas de manejo.
10. La extrapolación del modelo edafogeomorfológico generado a nivel local al resto de la cuenca requiere de material aéreo fotográfico, imágenes de satélites y bases cartográficas digitalizadas, para la generación de los respectivos mapas.
11. Se recomienda la implementación del modelo como herramienta para tomar decisiones rápidas sobre el uso de la tierra y manejo en casos de ser requeridas con premura, pero en ningún caso el mismo podrá sustituir los estudios de suelos.

VI. REFERENCIAS

VI. REFERENCIAS

- Agbenin, J.O., H. Tiessen., 1995. Soil properties and their variations on two contiguous hillslopes in Northeast Brazil. *Catena* 24 (147-161
- Ahuja, L.R., Sharpley, A.N., Lehman, O.R., 1982. Effect of soil slope and rainfall characteristics on phosphorus in runoff. *J. Environ. Qual.* 11 (1), 9–13.
- Ananda, J., Herath, G., 2003. The use of analytic hierarchy process to incorporate stakeholder preferences into regional forest planning. *Forest Policy and Economics* 5, 13– 26.
- Aoron, B. S., Robert, L., Sanford, J., 2001. Soil nutrient differences between two krummholz farm tree species and adjacent alpine tundra. *Geoderma* 102, 205-217.
- Armstrong, A.,Quinton, J.N., 2009. Pumped rainfall simulators: the impact of rain pulses on sediment concentration and size. *Earth Surf. Processes* 34 (9), 1310–1314.
- ASAE (American Society of Applied Engineering), cultural practice equipment committee. 1993. Soil cone penetrometer. ASAE standards engineering practices data ASAE S313.2. ASAE 40 edition. USA. P 657.
- Bárcenas, B. Juan M. 2010. Aplicación superficial de mezclas de vermicompost de estiércol bovino con cal dolomítica y fosfoyeso para enmendar subsuelo de Ultisoles. Estudio en columnas simuladas de suelo. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (ETSIA). Tesis Doctoral 135pp.
- Bari, F., Wood, M.K., Murray, L., 1995. Livestock grazing impacts on interrill erosion in Pakistan. *Journal of Range Management* 48. 251-257.
- .Bastian, O., M. RoÈder. 1998. Assessment of landscape change by land evaluation ofpast and present situation *Landscape and Urban Planning* 41, 171-182
- Bell, J.C., Cunningham, R.L., Havens, M.W., 1992. Calibration and validation of a soil landscape model for predicting soil drainage class. *Soil Science Society of America Journal* 56, 1860–1866.
- Blanco R., A. Nieuwenhuyse. 2011. Influence of topographic and edaphic factors on vulnerability to soil degradation due to cattle grazing in humid tropical mountains on northern Honduras. *Catena* 86, 130-137.
- Bocco G., M. Mendoza, A. Velázquez y Atorres. 1999. La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. En Michoacán de Ocampo. *Inv. Boletín* 40: 7-22.

- Bocco G., M Mendoza y A. Velásquez. 2001. Remote sensing and GIS. Based regional geomorphological mapping. A tool for land use planning in developing countries. *Geomorphology* 39: 211-219.
- Bockheim J.G, A.N. Gennadiyev, R.D Hammer and J.P- Tandarich. 2005. Historical developmet of key concepts in pedology. *Geoderma* 124:23-36.
- Bockheim J.G. 1980. Solution and use of chronofunctions in studying soil development. *Geoderma* 23:71-85.
- Boettcher, S. E. and P. J. Kalisz. 1990. Single tree influence on soil properties in the mountains of eastern Kentucky. *Ecology* 71 (4)1365-1372.
- Bouman, B. A. M., Nieuwenhyse, A., Ibrahim, M.,1999. Pasture degradation and its restoration by legumes in humid tropical Costa Rica. *Tropical grassland* 33 (2), 142-165.
- Bouma, J., 2000. Land evaluation for landscape units. In: Malcon Summer (Ed), *Handbook of soil science*, pp E313-.E412. CRC Press LLC.
- Borut Vr., L. Poggioa, F. A. Marsan, 2008. A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas. *Landscape and Urban Planning* 88, 81 – 94
- Bracho A., M. Contreras, Y. Villalobos, B. Bracho, M. Quiroz. L. Jiménez y M. Larreal. 1999. Cambios en la cantidad y biodiversidad de la mesofauna en un suelo degradado con aplicaciones de abono orgánico. *Rev. Fac. de Agronomía (LUZ)* 16:187-195.
- Brady, N. y Weil, R.2002.The nature and properties of soils. Thirteenth Edition. Pearson Education, Inc, New Jersey.
- Brown D., J. Murray, K. Claytonb, K. McSweeney, 2004 Potential terrain controls on soil color, texture contrast and grain-size deposition for the original catena landscape in Uganda. *Geoderma* 122 51–72
- Brubaker, S. C., Jones, A. J., Lewis, D. T., Frank, K., 1993. Soil properties associated with landscape position. *Soil Science Society of American Journal* 57 (1), 235-239.
- Burger, J.A., 1996. Limitations of bioassays for monitoring forest soil productivity: rationale and example. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 1674-1678.
- Burgess, T.M., Webster, R., 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. *Journal of Soil Science* 31, 315–331.
- Burrough, P.A., 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science* 40, 477–492.

Canfield, H. E., Lopes V. L., Goodrich, D. C. 2001. Hillslope characteristics and particle size composition of surficial armoring on a semiarid watershed in the southwestern United States. *Catena* 44, 1-11.

Chittleborough, D.J., 1992. Formation and pedology of duplex soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32, 815– 825.

Chen Z.S., C.F. Hsieh, F.Y. Jiang, T.H. Hsieh and I.F. Sun. 1997. Relations of soil properties to topography and vegetation in a subtropical rain forest in southern Taiwan. *Plant Ecology* 132: 229-241.

Clemens G., F. Sabine, D. C. Nguyen, V. D. Nyuyen, S. Ulrich, S. Karl, 2010. Soil fertility affected by land use history, relief position, and parent material under a tropical climate in NW-Vietnam. *Catena* 81, 87-96.

Conacher, A.J., Dalrymple, J.B., 1977. The nine-unit landsurface model: an approach to pedogeomorphic research. *Geoderma* 18, 1 – 154.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela artículo 128. <http://lenorienter.com/constitucion/articulo128.htm>.

Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. (COPLANARH). 1974. Inventario Nacional de Tierras. Región del Lago de Maracaibo. Publicación N° 34. Caracas- Venezuela.

Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. (COPLANARH). 1975. Estudio Geomorfológico de la Región del Lago de Maracaibo. Publicación N° 42. Caracas - Venezuela.

De Bruin S., Stein A., 1998. Soil-landscape modelling using fuzzy *c*-means clustering of attribute data derived from a digital elevation model (DEM).. *Geoderma* 83, 17–33.

De Bruin S., W.G. Wielemaker, M. Molenaar, 1999. Formalisation of soil-landscape knowledge through interactive hierarchical disaggregation. *Geoderma* 9, 151–172.

De la Rosa D., 2008. Evaluación agro-ecológica de suelos para un desarrollo sostenible. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. 404 p.

Delgado F y R. López. 1995. Validación de un modelo de erosión-productividad en suelos de los Andes venezolanos. XIII congreso Venezolano de Ciencia de Suelo. Maracay, Venezuela.

Dijkerman, J.C. and Miedema, R., 1988. An Ustult-Aquult-Tropept catena in Sierra Leone, West Africa. I. Characteristics, genesis and classification. *Geoderma*, 42: 1-27.

- Doran, J.W., Parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub. No. 35. pp. 3-22.
- Dobermann, A., Oberthur, T., 1997. Fuzzy mapping of soil fertility: a case study on irrigated riceland in the Philippines. *Geoderma* 77, 317– 339.
- Ewel, J., G., Madriz, 1968. *Leyenda del mapa de zonas de vida para Venezuela*. Ministerio de Agricultura y Cría (MAC). 214 pp.
- FAO, 1976. *A Framework for Land Evaluation*. FAO Soils Bulletin vol. 32. Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO, 1983. *Diretrizes para la evaluación de tierras para la agricultura de secano*. Boletín N°52. Servicio de recursos, manejo y conservación de suelo. Dirección de Fomento de Tierra y Aguas.
- FAO, European Comission Joint Research Centre, International Soil Rference Centre. 2003. *World Reference Base for Soil Clasification*. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- FAO, 1995. *Planificación del Aprovechamiento de la Tierra*.
- FAO, 1997. *Zonificación agroecología: guía general*. www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/zae/adapta.pdf.
- FAO, 2006. *Guidelines for Soil Description Fourth edition*- Rome. Italy.
- FAO, 2009. *The state of food and agriculture, Livestock in Balance*. Electronic Publishing Policy and support comunicatio division.FAO. Rome. 166 pp. Available at <http://www.fao.org/docrep/012/i0680e/i0680e.pdf>.
- Faría, M. J., B. González, Z. Chirinos. 2007. Producción forrajera de cuatro germoplasmas de *Pennisetum purpureum*, en sistemasintensivos de corte. ITEA Vol. Extra n° 28, tomo I, 360-362.
- Francelino M.R., C.E. Schaefer, F.N. Bello, E.I. Fernandez, J.J. De Souza and L.M. Da Costa. 2011. Geomorphology and soils distribution under paraglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antartica. *Catena* 85: 194-204.
- Fox, D.M., Bryan, R.B., Price, A.G., 1997. The influence of slope angle on final infiltration rate for interrill conditions. *Geoderma* 80 (1–2), 181–194.
- Gascó J. M., F. Guerrero y G. Gascó. 2007. *Los suelos. I evaluación y sustentabilidad del desarrollo*- Universidad Politécnica de Madrid (UPM). 227 pp.
- Gálvez M., M.A. Parra, C. Navarro. 2004. *Relating tree vigour to the soil and landscape*

characteristics of an olive orchard in a marly area of southern Spain. *Scientia Horticulturae* 101, 291–303

Gerdol R., A. Pontin, M. Tomaselli, L. Bombonato, L. Brancaloni, M. Gualmini, A. Petraglia, C. Siffi and A. Gargini. 2011. Hydrologic controls on water chemistry, vegetation and ecological patterns in two mires in the South-Eastern Alps (Italy). *Catena* 86: 86-97.

Gobin A., P. Campling, J. Deckers, J. Feyen, 2000. Integrated Toposequence Analyses to combine local and scientific knowledge systems. *Geoderma* 97, 103-123.

Golodets, C., Boeken, B., 2006. Moderate sheep grazing in semiarids shrubland alters small scaled soil surface structure and patch properties. *Catena* 65, 285-291.

Gregorich, E.G., Turchanek, L.W., Carter, M.R., Angers, D.A. (Eds.), 2001. *Soil and Environmental Science Dictionary*. Canadian Society of Soil Science, CRC Press, Boca Raton.

Havlin, J., Beaton., J., Tisdal, S. and Nelson W. 1999. *Soil fertility and fertilizer. An introduction to nutrient management*. Macmillan Publishing Company.

Hirmas, D. R.; R. C. Graham and K. J. Kendrick. 2011. Soil-geomorphic significance of land surface characteristics in an arid mountain range, Mojave Desert, USA. *Catena* 87: 408–420.

Hook P.B. And I.C. Burke. 2000. Biogeochemistry in a Shortgrass Landscape: Control by Topography, Soil Texture and Microclimate. *Ecology*, 81(10) pp. 2686-2703.

Hudson, B.D., 1992. The soil survey as paradigm-based science. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 836–841^a.

Hudson, B.D., 1992. The soil survey as paradigm-based science. *Soil Science Society of America Journal* 56, 836– 841^b.

Ibáñez J.J., S. De-Alba, F.F. Bermúdez and A. García-Álvarez. 1995. Pedodiversity: concepts and measures. *Catena* 24: 215-232.

ISRIC (International Soil Reference Information Center). 1993. *Procedure for soil analysis*. L.P. van Reewijk (Ed). Technical Paper. Wageningen, Holland.

Jenny H. 1941. Derivation of state factor equations of soil and ecosystems, *soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25:385-388.

Jiao F., Z.M. Wen and S.A. An. 2011. Changes in soil properties across a chronosequence of vegetation restoration on the Loess Plateau of China. *Catena* 86: 110-116.

Jiménez, J.J., Lal, R., 2006. Mechanisms of C sequestration in soils of Latin America. *Critical Reviews in Plant Sciences* 25, 337–365.

Jiménez F. L. A. J. 1998. Efectos del estiércol bovino sobre suelos degradados, en el área de la Machiques Colón Estado Zulia. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Tesis de Maestría. 242pp.

Jiménez L., M. Larreal, N. Noguera, M. Vargas, R. González. 1999a. Cambios en la morfología del perfil de suelo de un Ultisol degradado en la Machiques Colón, en respuesta a la aplicación de estiércol bovino. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 16:171-176.

Jiménez L., M. Larreal, N. Noguera, M. Vargas, R. González. 1999b. Cambios en algunas condiciones físicas de un Ultisol degradado, en el área de la Machiques Colón en respuesta a la aplicación de estiércol bovino. *Rev. Fac. Agron.* 16:177-178.

Jiménez L., N. Noguera y M. Larreal. 2004a. Cambios en la productividad de un ultisol degradado mediante la aplicación de estiércol bovino. *Rev. Fac. Agro. (LUZ)* 21:246-259.

Jiménez L., N. Noguera y M. Larreal. 2004b. Efectos del estiércol bovino sobre algunas propiedades químicas de un ultisol degradado en el área de la Machiques Colon, estado Zulia. *Rev. Fac. Agro. (LUZ)* 21:311-321.

Jiménez L., L. Mármol, 2005. Los suelos en la producción de plantas forrajeras. En: C. González y E. Soto (eds), *Manual de Ganadería Doble Propósito- Fundación GIRARZ*. Ediciones Astro Data. Pp 147-151.

Jiménez L. A. J. 2007. Caracterización del compost de estiércol bovino para su incorporación en la recuperación de suelos en ecosistemas del bosque húmedo de la Machiques Colón estado Zulia, Venezuela. Programa de Doctorados Conjuntos LUZ.UPM. Diploma de Estudio Avanzado (DEA). 80p

Johnson K.D., F.N. Scatena and W.L. Silver. 2011. Atypical soil carbon distribution across a tropical steep land forest catena. *Catena* 87: 391-397.

Karlen, D. L., N. C. Wallenhaut, D. C. Erbach, E. C. Berry, J. C. Swan, N. S. Eash, J. L. Jordahl, 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Of Am. J.* 61, 4-10.

Katra, I., Blumberg, D. G., Lavee, H., Sarah, P., 2007. Top soil moisture patterns on arid hillsides. Microscaled mapping by thermal inferred images *Journal of Hydrology* 334, 359-367.

Kelting, D. L., Burgera J. A., S. C. Pattersonb, W. M. Austa, M. Miwaa, C. C. Trettinc, 1999. Soil quality assessment in domesticated forests, a southern pine example. *Forest Ecology and Management*. 122, 167-185

Kleber, M., Mikutta, R., Torn, M.S., Jahn, R., 2005. Poorly crystalline mineral phases protect organic matter in acid subsoil horizons. *European Journal of Soil Science* 56, 717–725.

Klingebiel, A.A., Montgomery, P.H., 1961. Land capability classification. *USDA Handbook*, vol. 210. United States Department of Agriculture, Washington, DC.

Kompani-Zare M., M. Soufi, H. Hamzehzarghani and M. Dehghani. 2011. The effect of some watershed, soil characteristics and morphometric factors on the relationship between the gully volume and length in Fars Province, Iran. *Catena* 86: 150-159.

Larreal, R. M. H., 2011, Caracterización y clasificación de series de suelos en las zonas rurales semiáridas del trópico venezolano. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (ETSIA). Tesis Doctoral 221pp.

Larson, W.E., Pierce, F.J., 1991. Conservation and enhancement of soil quality, evaluation for sustainable land management in the developing world. In: *IBSRAM Proceedings*, No. 12, vol. 2. International Board for Soil Research and Management, Bangkok, pp. 175–203.

Laterra, P., M. E. Orúea, G. Boomana, 2011. Spatial complexity and ecosystem services in rural landscapes. *Agriculture Ecosystems and Environment*, doi:10.1016/j.agee.2011.05.013

Ley Orgánica para la Planificación y Gestión del Territorial, artículo 10-15. <http://www.leyesvenezolanas.com/lopgot.htm>.

Lindorf, H., L. De Parisca Y P. Rodríguez. 1981. Botánica. Clasificación, estructura, reproducción. Caracas, UCV. Ediciones de la Biblioteca. pp 550-557.

López, I. 1982. Requerimientos de cal en suelo en Venezuela. III. Interpretación de análisis por el método de titulación $\text{Ca}(\text{OH})_2$. *Agronomía Tropical*. 33(1-6): 443-458

Marchetti A., C. Piccini, S. Santucci, I. Chiuchiarelli and R. Francaviglia. 2011. Simulation of soil types in Terano province (Central Italy) with terrain parameters and remote sensing data. *Catena* 85: 267-273.

Marggraf, R., 2003. Comparative assessment of agri-environment programmes in the federal state of Germany. *Agriculture Ecosystem and Environment* 98, 507– 516.

MARNR. 1980. Metodología de estudios integrales en cuencas altas. Dirección General de Información e Investigación del Ambiente Zona 6.

McBratney, A.B., Odeh, I.O.A., 1997. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma* 77, 85– 113.

McBratney, A. B., M.L. Mendonça Santos, B. Minasny, 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117, 3-52.

McKenzie, N.J., Ryan, P.J., 1999. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma* 89, 67-94.

Mende A., A. Astorga, 2007. Incorporating geology and geomorphology in land management decisions in developing countries: A case study in Southern Costa Rica. *Geomorphology* 87, 68-89.

Mendoza C. y G. Bocco. 1998. La regionalización geomorfológica como base geográfica para el ordenamiento del territorio. Instituto de geografía UNAM, México, pp. 25-55.

Minár, J., Evans, I.S., 2008. Elementary forms for land surface segmentation: the theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology* 95, 236-259.

Minasny, B., McBratney, A.B., 1999. A rudimentary mechanistic model for soil production and landscape development. *Geoderma* 90, 3- 21.

Minasny, B., McBratney, A.B., 2001. A rudimentary mechanistic model for soil production and landscape development: II. A two-dimensional model incorporating chemical weathering *Geoderma* 103, 161-179.

Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Léxico Estratigráfico de Venezuela. 1956. Schwarck, A., (Ed).; Boletín de Geología, Publicación Especial N°1. Editorial Sucre. 360-362.

Morgan, R.P.C. (Royston Philip Charles). 1996. Soil erosion and Conversation. 2nd ed. Produced through Longman Malaysia, TCP. 198 pp.

Moore, I.D., Lewis, A., Gallant, J.C., 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal* 57, 443-452.

Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Birgham J.M. (eds.) *Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods*. SSSA, Madison, USA, 961-1010.

Noguera N., W. Peters, L. Jiménez y J.J. Moreno. 1994. Centro de información y referencia de suelos para la Cuenca del Lago de Maracaibo. I Caracterización química y mineralógica de los suelos de la colección. *Venesuelos* 2(2): 67-80.

Nkem J. N., L.A. Lobry de Bruyn, C. D. Grant , N. R. Hulugalle, 2000 The impact of ant bioturbation and foraging activities on surrounding soil properties. *Pedobiología* 44, 609-621.

Odeh, I.O.A., McBratney, A.B., Chittleborough, D.J., 1994. Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from a digital elevation model. *Geoderma* 63 (3– 4), 197– 214.

Odeh, I.O.A., McBratney, A.B., Chittleborough, D.J., 1995. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes heterotopic cokriging and regression-kriging. *Geoderma* 67 (3– 4), 215– 226.

Paredes, J., S., Buol, 1981. Soils in an aridic ustic climosequence in the Maracaibo's Lake basin. *Soil Science society of American Journal*. 45, 385-391.

Park, S., J., Vlek, P., L., G., 2002. Environmental correlation of three dimensional soil spatial variability: a comparison of three adaptive techniques. *Geoderma* 109 (1-2). 117-140.

Phillips J.D. 1998. On the relations between complex systems and the factorial model of soil formation (with discussion). *Geoderma* 86:1-21.

Phillips J.D. and D.A. Marion. 2005. Biomechanical effects, lithological variations, and local pedodiversity in some forest soils of Arkansas. *Geoderma* 124. 73-89.

Phillips J.D. and D.A. Marion. 2006. Biomechanical Effects of Trees on Soil and Regolith: Beyond Treethow. *Annals of the Association of American Geographers*, 96(2), pp. 233-247.

Phillips J.D. and D.A. Marion. 2007. Soil geomorphic classification, soil taxonomy and effects on soil richness assessments. *Geoderma* doi: 10.1016/j.geoderma 2007.05.011.

Pierce, F.J., Larson, W.E., Dowdy, R.H., Graham, W.A.P., 1983. Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion. *J. Soil Water Conserv.* 38, 39-44.

Pieri, C., Dumanski, J., Hamblin, A., Young, A., 1995. Land Quality Indicators. World Bank Discussion Paper, vol. 315. World Bank, Washington, DC.

Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización Física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelo en condiciones tropicales. *Alcance Revista de la Facultad de Agronomía UCV-Maracay, Venezuela* 32:5-91.

Quevedo, R. L. 1999. Metodología para un estudio de fincas de producción lechera en el estado Yaracuy. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela. 340 p.

RENTAGRO, 2004. Zonificación agroecológica de la cuenca del Lago de Maracaibo.

Reganol, J. P., M. J. Singer, 1984. Comparison of farm production input/output ratios of two land classification system. *J. soil Water Conserv.* 39, 47-53.

- Rhoades, J. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. En: Birgham J.M. (eds.) *Methods of Soils Analysis: Part 3. Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, USA, 417-435.
- Richards, L. 1965. Physical condition of water in soil In: C.A. Black Evans D.D.; White J.L Ensminger L.E; clark F.E. (Eds). *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy Madinson. Wisconsin. pp 128-152.
- Rincón M. 2006. Análisis y procesamiento de datos de precipitación diaria de la cuenca del Lago de Maracaibo. IIA. LUZ. Fac. de Agronomía.
- Riquier, J., Bramao, D.L., Cornet, J., 1970. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity (first approximation). United Nations, Food and Agriculture Organization (F.A.O), Soil Resources Development and Conservation Service, Land and Water Development Division, AGRL. TESR/70/6, Rome.
- Royero, G. 2010. Diplomado básico en tecnología de información. LUZ. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geodesia. 45pp.
- Ruiz-Sinoga J.D., J.F. Martínez-Murillo, M.A. Gabarrón-Galeote, R. García-Marín. 2011. The effects of soil moisture variability on the vegetation pattern in Mediterranean abandoned fields (Southern Spain). *Catena* 85: 1-11.
- Russell, J., R., Betteridge, K., Costall, D., A., Mackay, A., D., 2001. Cattle treading effects on sediment loss and water infiltration. *Journal of Range Management* 54 (2). 184-190-
- S.A.S. 2009. Versión 9.1.3. Statistical Analysis System Institute, Inc. Cary, New York, USA.
- Scatena, F.N., Lugo, A.E., 1995. Geomorphology, disturbance, and the soil and vegetation of two subtropical wet steepland watershed of Puerto Rico. *Geomorphology* 13, 199–213.
- Seibert J., J. Stendahl, and R. Sorensen. 2007. Topographical influences on soil properties in boreal forests. *Geoderma*, doi: 10.16/geoderma 2007.05.013.
- Silva, D. M. E. Peña y F. Urdaneta. 2010. Registros de control e indicadores de resultados en ganadería bovina de doble propósito *Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XX, N° 1*, 89 – 100.
- Silver, W.L., Scatena, F.N., Johnson, A.H., Siccama, T.G., Sanchez, M.J., 1994. Nutrient availability in a montane wet tropical forest: spatial patterns and methodological considerations. *Plant and Soil* 164, 129–145.
- Singer M. J., E. Ewing, 2000. Soil Quality. In: Malcon Summer (Ed), *Handbook of soil science*, pp G271-G298. CRC Press LLC.

Soil Survey Staff. 2010. Keys to soil taxonomy. United State Department of Agriculture. (USDA), Natural Resources conservation service (NRCS). 330 pp.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan C., 2006. Livestock long shadow. FAO. Rome. 391pp. Available at <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a07001e00.HTM>.

Storie, R.E., 1933. An index for rating the agricultural value of soils. Calif. Agric. Exp. Stn. Bull. No. 556.

Sumner, M. y Miller, W. 1996. Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficients. En Methods of Soil Analysis. Parte 3. Chemical Methods; Sparks D. L. *et al.* (Eds.) American Society of Agronomy / Soil Science Society of America: Madison, WI. 1201-1226.

Sys C., V. Ranst, J. Debaveye, F. Beenaert. 1993. Land evaluation, part III. Crop Requirements.

Thomas, G. 1996. Soil pH and Soil Acidity. En: Methods of Soil Análisis. Parte 3. Chemical Methods; Bigham, J.M., (Ed.),

UBSR (United States Buro of Soil Reclamation). 1953. Land clsification handbook. USDI, Bur. Recl. Pub. V, part 2.

Urdaneta F., M., Materán, M. E. Peña, Á., Casanova- 2004. Tipificación tecnológica del sistema de producción Con ganadería bovina de doble propósito (Bos Taurus x Bos Indicus). Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XIV, N° 3, 254-262.

Varela A. 2003. Analisis e interpretación de propiedades biológicas del suelo. En: M Triana, R.Lara, M. Gómez, y G. Peñaloza (Eds). Manejo integral de la fertilidad de suelo. Sociedad Colombiana de Ciencia de suelo. Pp 55-62.

Viglizzo E.F., A.J. Pordomingo, M.G. Castro, F.A. Lértora, J.N. Bernardos, 2004. Scale-dependent controls on ecological functions in agroecosystems of Argentina. Agriculture, Ecosystems and Environment 101, 39–51

Villalobos, I. 1991. Consideraciones sobre la erosionabilidad de algunos suelos del bosque húmedo tropical del Lago de Maracaibo. Trabajo de Ascenso. Maracaibo, LUZ. Facultad de Agronomía 102 pp.

Wallace A., 1994. Soil organic matter must be restored to near original levels. Communications in soil science and plant analysis 25: 29-35.

Weixelman D.A.; D.C. Zamudio; K.A. Zamudio And R.J. Tausch. 1997. Classifying ecological types and evaluating site degradation. J. Range Management 50: 315-321.

Western A.W., A.L. Zhou, R.B. Grayson, T.A. McMahon, G. Blöschl and D.J. Wilson. 2004. Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological processes. *Journal of Hydrology* 286: 113-134.

Wysocki D. A., P. J. Schoeneberger, H. E. LaGarry, 2000. Geomorphology of soil landscapes. In: Malcom Summer (Ed), *Handbook of soil science*, pp E5-E39. CRC Press LLC.

Yan Y., X. Xu, X. Xin, G. Yang, X. Wang, R. Yan and B. Chen. 2011. Effects of vegetation coverage on a eolian dust accumulation in a semiarid steppe of northern China. *Catena* 87: 351-356.

Zhang B., Y. Zhang, D. Chen, R.E. White, Y. Li, 2004. A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. *Geoderma* 123 (319–331

Zhu, A. X., Band, L., Vertessy, R., Dutton, E., 1997. Derivation of soil properties using a soil land inference model (SoLIM). *Soil Science of American Journal* 61, 523-533.

Zucca C., Canu A., Della Peruta R., 2006. Effect of land use and landscape on spatial distribution and morphological features of gully in agropastoral area in Sardinia (Italy)-*Catena* 68, 87-95.

Zucca C., F. Julitta and F. Previtali. 2011. Land restoration by fodder shrubs in a semi-arid agro-pastoral area of Morocco. Effects on soil. *Catena* 87: 306-312pp.

Zueng- Sang Cheng, Chang- Fu Hsieh, Feei-Yu Jiang, Tsung-Hsin Hsieh and Fang Sun. 1997 Relations of soil properties to topography and vegetation in subtropical rain forest in southern Taiwan. *Plant Ecology* 132: 229-241pp.

Zinck. A. 1986. Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos. CIDIAT. Serie: suelo y clima. Mérida Venezuela. 114pp.

Zinck. A. 2006. Suelos, información y sociedad. Universidad autónoma de Yucatán-ITC. Mexico. 282pp.

Zinko, V., Seibert, J., Dynesius, M., Nilson, C., 2005. Plant species numbers predicted by topography based ground water flow index. *Ecosystems* 8 (4), 430-441.

ANEXOS

ANEXO 1.

Registros climáticos: precipitación, temperatura y evaporación.

M.A.R.N.R.

FECHA: 25/11/1997

DIVISION DE INFORMACION AMBIENTAL

DPTO. DE HIDROLOGIA Y METEOROLOGIA

SECCION DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Estacion: MACHIKUES

Tipo: C1

Serial: 1092

Zona: 05

Estado: ZU Latitud: 100323

Longitud: 723344

Altitud: 99 m.s.n.m

Org.: MA

Instalada: 0450

Eliminada:

Datos Mensuales y Anuales de PRECIPITACION DE 08:00 A 08:00 (PR) MM.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1991	10.5	97.3	134.4	126.9	164.4	150.1	98.1	147.6	222.6	185.6	62.6	11.4	1411.5
1992	4.5	3.9	.5	100.7	124.0	111.3	184.1	161.2	128.4	171.7	218.3	64.7	1273.3
1993	31.2	20.6	28.0	136.6	238.1	146.8	104.3	56.5	139.0	176.4	245.0	72.7	1395.2
1994	18.6	81.0	27.5	259.9	276.5	110.0	84.4	66.0	124.0	216.0	70.4	95.4	1429.7
1995	18.9	36.9	129.5	109.1	128.3	84.6	168.5	217.4	293.5	193.2	64.2	1.5	1445.6
1996	94.8	13.5	10.8	203.8	139.5	160.1	229.9	165.2	219.7	157.1	157.4	18.5	1570.3
1997	10.8	105.9	13.6	45.5	105.7	210.1	-	-	-	-	-	-	-
Prom:	27.0	51.3	49.2	140.4	168.1	139.0	144.9	135.6	187.9	183.3	136.3	44.0	1407.0
Porc:	1.9	3.6	3.5	10.0	11.9	9.9	10.3	9.6	13.4	13.0	9.7	3.1	
D.STD:	31.1	42.4	57.4	70.8	64.4	41.3	58.0	62.4	68.4	20.2	82.4	38.5	
CV:	114.9	82.7	116.6	50.4	38.3	29.7	40.0	46.0	36.4	11.0	60.5	87.4	

*

DATO ENGLOBADO

+

DATO

DESENGLOBADOS

M.A.R.N.R.
 DIVISION DE INFORMACION AMBIENTAL
 DPTO. DE HIDROLOGIA Y METEOROLOGIA
 SECCION DE PROCESAMIENTO DE DATOS

FECHA: 05/12/1997

Estacion: MACHIKUES Tipo: C1 Serial: 1092 Zona: 05
 Estado: ZU Latitud: 100323 Longitud: 723344 Altitud: 99 m.s.n.m
 Org.: MA Instalada: 0450 Eliminada:

Datos Mensuales y Anuales de TEMPERATURA MEDIA (°C) (Máx+Mín)/2

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	28.2	27.3	28.5	28.5	28.1	28.3	28.5	28.7	28.4	27.5	28.0	27.4	28.1
1991	27.5	28.7	28.2	28.8	28.7	28.6	28.7	28.4	28.3	27.2	27.7	27.3	28.2
1992	28.1	29.1	30.2	30.6	29.1	29.2	28.0	28.5	28.2	27.9	27.8	26.9	28.6
1993	27.6	28.5	29.8	29.0	27.8	28.8	28.6	29.0	28.0	28.0	27.5	27.4	28.3
1994	27.3	28.2	28.7	28.5	27.8	28.5	28.1	28.6	29.1	27.5	27.6	27.8	28.1
1995	28.1	28.8	29.2	29.2	29.2	29.0	28.6	28.2	28.4	27.2	27.7	28.1	28.5
1996	27.6	28.6	28.6	28.7	28.1	28.2	27.9	28.0	28.2	27.9	27.6	26.9	28.0
1997	27.0	27.7	28.3	28.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prom:	27.7	28.4	28.9	29.0	28.4	28.7	28.3	28.5	28.4	27.6	27.7	27.4	28.2
Porc:	8.2	8.4	8.5	8.6	8.4	8.5	8.4	8.4	8.4	8.1	8.2	8.1	
D.STD:	.4	.6	.7	.7	.6	.4	.3	.3	.3	.3	.2	.4	
CV:	1.5	2.1	2.5	2.3	2.1	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	.6	1.6	

* DATO ENGLOBADO
 - DATO DESCONOCIDO
 D.STD DESVIACION STANDARD

+ DATO DESENGLOBADOS
 CV COEFICIENTE DE VARIACION

ANEXO 2.

MÉTODO PARAMÉTRICO DISCRETO PARA EVALUAR LOS SUELOS SEGÚN SU PRODUCTIVIDAD ACTUAL Y POTENCIAL.

Valores de los parámetros para la evaluación de los suelos según el método paramétrico discreto (Riquier *et al.*, 1970).

H. Régimen hídrico del suelo.				
Símbolo	Número de meses con suelo seco	Cultivos anuales	Cultivos Perennes	Reg. humedad
H1	Suelo seco todo el año	5	5	Aridic
H2	Seco de 11 a 9 meses	10-20-40	10	Aridic
H3	Seco de 8 a 6 meses	50-60-70	10-20-40	Aridic-Ustic
H4	Seco de 4 a 3 meses	80-90-100	70-90-100	Udic-Ustic
H5	Seco de 2 a 0 meses	100	100	Udic-Perudic
H6	Saturado largo tiempo	Ver D	Ver D	Aquic

Símbolo	Meses con suelo encharcado	Profundidad de la capa freática	Cultivos anuales	Cultivos Perennes
D1a	12	<30 cm		
D1b	2-4	No	10-40	5
D2a	No	30-60 cm		
D2b	8 días en 2 meses	No	40-80	10
D3a	No	>60 cm		
D3b	< 8 días	No	80-90	10
D4	No	>120 cm	100	100

Símbolo	Profundidad cm	Llano	Ladera	Cultivo Perenne
P1	< 30	20	20	5
P2	30-60	50	30-40	20
P3	60-90	80	60-70	60
P4	90-120	100	100	80
P5	>120	100	100	100

T. Textura, estructura y elementos gruesos en las raíces.						
Símbolo	Clase de granulometría	Símbolo	% en peso	Estructura	Factor	
T1	Fragmentos gruesos >2 mm	T1a	>60	No	10	
		T1b	40-60	No	30	
		T1c	20-40	No	60	
T2	Arenosa				H1H2	H3 H4H5H6
		T2a	Gruesa>85% sin arcilla	No	10	10 10
		T2b	Gruesa>45%	No	10	20 30
T3	Arcillosa	T2c	MO fibrica	No	30	30 30
		Estructura inestable, arcilla dispersa			10	20 30
T4	Areno francosa fina franco arenosa	T4a	Estructura inestable		30	30 40
		T4b	Estructura estable		40	40 50
T5	Arcillosa y Arcillo limosa	T5a	Prismática, columnar o maciza		20	70 60
		T5b	Migajosa, granular o porosa		60	80 80
T6	Franco arcillosa, Franco arcillo limosa, Arcillo arenosas	T6a	Prismática, columnar o maciza		60	80 80
		T6b	Migajosa, granular o porosa		90	90 90
T7	Medias Limosa, Franco limosa.				100	100 100

B. Porcentaje de saturación de la base por cationes intercambiables.

Símbolo	SB(%) = 100*(Bases/CIC)	Factor
SB1	15%	40
SB2	15-35%	50
SB3	35-50%	60
SB4	50-75%	80
SB5	>75%	100
SB6	100% suelo calcáreo	80

S. Salinidad y sodicidad.

Símbolo	CE del extracto saturado dS/m a 25 °C		Factor	
	Sin Na ₂ CO ₃	Con Na ₂ CO ₃	T1,T2,T4	T5, T5,T6
S1	<4		100	100
S2	4-8		70	90
S3	8-12		50	80
S4	12-16		25	40
S5	16-20		15	25
S6		>20	5	15
S7		2-6	60	90
S8		6-12	15	60
S9		>12	5	15

O. Materia orgánica en el horizonte A del suelo.

Símbolo	% Materia Orgánica	H1 H2 H3 D3 D4	H4 H5 D1 D2
O1	1	85	70
O2	1-2	90	80
O3	2-3	100	90
O4	>5	100	100
O5	>5 y C/N >25	100	100
		70	70

M. Minerales meteorizables en reserva en el horizonte B.

Símbolo	Contenido	Símbolo	H1 H2 H3	H4 H3
M1	Bajo		85	85
		M2a	85	90
M2	Medio	M2b	90	95
		M2c	95	100
		M3a	90	95
M3	Alto	M3b	95	100

A. Tipo de arcilla y capacidad de intercambio de cationes.

Símbolo	Mineralogía de la arcilla	Capacidad de intercambio de cationes	Factor
A1	Caolinita-sesquióxidos	<20 cmol kg ⁻¹	90
A2	Mixta, illita	20-40	95
A3	Esmectita, alófana	>40	100